

Libros de **Cátedra**

Manejo de cuencas hidrográficas

Herramientas de sistemas
de información geográfica

Fernanda Julia Gaspari, Alfonso Martín Rodríguez
Vagaría y Fabio Alejandro Montealegre Medina

n
naturales

FACULTAD DE
CIENCIAS AGRARIAS Y FORESTALES



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA

MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

HERRAMIENTAS DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Fernanda Julia Gaspari
Alfonso Martín Rodríguez Vagaría
Fabio Alejandro Montealegre Medina

Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA



Índice

Introducción	5
---------------------	---

Capítulo 1

Introducción a los Sistemas de Información Geográfica (SIG)	6
Definición de SIG	6
Procesamiento y creación de base de datos	9
Conceptos geomáticos	12

Capítulo 2

Aplicación en programas de acceso libre y gratuito	16
Introducción al software libre para procesamiento de información geográfica	16
Familiarización con herramientas / complementos referenciados para el manejo y gestión de cuencas hidrográficas	17

Capítulo 3

Definición de cuenca hidrográfica y morfometría	35
Concepción y comportamiento del agua en una cuenca hidrográfica	35
Componentes morfométricos. Delimitación y obtención de parámetros de cuencas	37
Análisis morfométrico con SIG	40
Caracterización morfométrica con SIG	69

Capítulo 4

Zonificación del escurrimiento superficial	88
Definición y procesamientos de variables para definir el escurrimiento superficial	88
Manipulación de capas temáticas para la obtención la zonificación del número de curva	89
Obtención del mapa de erosión potencial cualitativa	99

Capítulo 5

Cuantificación de la pérdida de suelo por erosión hídrica superficial	101
Definición de las variables de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE)	101
Riesgo de erosión y tolerancia de pérdida de suelo	109

Capítulo 6

Redes online de datos geoespaciales	114
-------------------------------------	-----

Fuentes de información en Internet: Red Infraestructura de Datos Espaciales de la República Argentina (IDERA) _____	114
Tipos de servicios de mapas _____	116
Conexión a los geoservicios y aplicación en software libres _____	118
 Los Autores _____	 120

Introducción

En el estudio de los procesos hidrológicos y su incidencia en el ambiente se adoptan diferentes metodologías y tecnologías de vanguardia para generar, diseñar, interpretar, desarrollar y aplicar técnicas de investigación y de extensión participativa en forma dinámica para la interpretación de la realidad forestal, agropecuaria, ambiental y social.

El inventario y clasificación de los elementos en cuencas hidrográficas se basa en la definición de dos tipos de datos: los obtenidos en el campo (estaciones hidro-meteorológicas de aforos, determinación de variables para estimar el balance hídrico, consumo de agua, entre otros), y los derivados de la percepción remota (fundamentalmente cobertura del terreno, relieve y suelos, acuíferos, etc), también verificados en campo. La relación de estos datos con sus características descriptivas, cuantitativas y cualitativas se puede realizar en forma coherente y sistemática, generando bases de datos geoespaciales con una posible dinámica temporal.

En la actualidad, la forma más conveniente de almacenar y analizar este conjunto de datos es mediante los sistemas de información geográfica (SIG), que además permiten la elaboración y manipulación de mapas. Este hecho ofrece una visión integral y territorial del dato (en su localización geográfica y en sus características temáticas), que permite mejorar las técnicas analíticas, incluyendo las estadísticas y las geoestadísticas.

El aporte original del libro consiste en analizar la relevancia de la perspectiva territorial - geográfica en el manejo integrado de cuencas hidrográficas, considerando el uso de herramientas de acceso libre y gratuito para la adquisición y análisis de datos geográficos, evaluando los requerimientos versus disponibilidad. Ello logrará introducir, fortalecer y desarrollar habilidades en el manejo de herramientas de SIG de código abierto y en la captura, almacenamiento, proceso y divulgación de información geográficamente referenciada para el manejo y gestión de cuencas hidrográficas.

Los objetivos de la elaboración del libro se basaron en proporcionar elementos que permitan comprender el marco teórico y práctico del manejo integral de cuencas hidrográficas, por medio del aporte de conocimientos básicos sobre los SIG y aplicar herramientas metodológicas para la optimización del uso del recurso suelo – agua – vegetación. Estos elementos y herramientas aportadas permitirán obtener el máximo provecho de la información geográfica antecedente y disponible, facilitando el manejo de datos y la toma de decisiones en el manejo de cuencas hidrográficas.

CAPÍTULO 1

Introducción a los Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Definición de SIG

Sistema de Información Geográfica (SIG) es un sistema integrado, conformado por hardware, software y datos geográficos, y diseñado para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y gestión¹.

Según Gaspari et al. (2013), los Sistemas de Información Geográfica son herramientas informáticas que procesan y analizan datos con algún componente espacial (Chuvieco, 2000; Ordoñez y Martínez Alegría, 2003). El *National Centre of Geographic Information and Analysis* (NCGIA) expresa que un SIG es un sistema de hardware, software y procedimientos elaborados para facilitar la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelado, representación y salida de datos espacialmente referenciados, para resolver problemas complejos de planificación y gestión (1990, en <http://www.ncgia.ucsb.edu/>).

Un sistema de información geográfica (SIG) es: “un conjunto de programas, equipamientos, metodologías, datos y personas (usuarios), perfectamente integrado, de manera que hace posible la recolección de datos, almacenamiento, procesamiento y análisis de datos georreferenciados, así como la producción de información derivada de su aplicación” (Figura 1)².

¹ <http://mapas.ambiente.gob.ar/?idarticulo=12533>

² <http://www.ign.gob.ar/sig>



Figura 1. Estructura SIG. Fuente: <http://www.ign.gob.ar/sig>

El propósito de un SIG es convertir datos geográficos en información apta para la toma de decisiones, por medio de la transformación de esa información obtenida en forma de mapas y otras bases de datos. El elemento esencial de un SIG es su capacidad de procesamiento donde se supone la conformación de bases de datos coherentes, validadas, y sujeta a la edición y actualización.

Estas bases de datos deben contener una ubicación geográfica o datos georreferenciados, que son referidos a una posición con respecto a un sistema de coordenadas terrestres. La tecnología de los SIG busca articular las bases de datos gráficas con las bases de datos alfanuméricas que representan los diferentes rasgos del territorio, tales como caminos, cursos de agua, asentamientos poblacionales, actividades económicas, etc.

Los ámbitos en que pueden ser aplicados los SIG son muy diversos, y generalmente son implementados en entornos de trabajo interdisciplinarios. Hay ejemplos de utilización de SIG en cartografía, investigaciones científicas, planificación de políticas públicas, gestión ambiental del territorio, marketing, logística, demografía, sólo por citar algunos casos³.

Los componentes de un SIG pueden dividirse en los siguientes sistemas de datos:

Entrada: sistema digital de imágenes (SDI) (satelitales, radas, otras), digitalización de mapas, sistema de posicionamiento global (GPS), datos tabulares (planillas electrónicas) y datos estadísticos.

Almacenamiento: banco de datos espaciales (mapas digitales) y banco de datos de atributos (alfanuméricos).

Análisis y procesamiento: sistema de análisis geográfica (operaciones algebraicas), sistema de análisis estadístico y sistema de gestión de banco de datos (SGBD).

Salida: sistema de exhibición cartográfica (salida de mapas para el monitor, la impresora, el plotter y archivos digitales).

Los elementos constitutivos de un SIG son: el hardware (computadora), el software (programas de procesamiento de la información georreferenciada), los datos geográficos y un equipo humano idóneo. Para la operación de un SIG se lleva adelante un proceso denominado de Abstracción. El mismo se basa en que el SIG genere una representación simplificada del mun-

³ <http://www.ign.gob.ar/sig>

do real, por medio de diversos niveles de información en capas, que establece en relación a la concepción de la estructura de base de datos (Gaspari et al., 2009).

El dato geográfico espacial presenta dos componentes relacionados:

- ✓ Temático: un objeto o fenómeno se encuentra descrito por sus atributos (por ejemplo, un bosque que se describe por su superficie, especies presentes, número de estratos de la vegetación, etc.).
- ✓ Espacial: hace referencia a la geometría y a la topología (relación entre objetos vecinos).

Cada punto en el espacio presenta una Geometría que establece su ubicación sobre la superficie terrestre, descrita generalmente por sus coordenadas, por ejemplo: coordenadas geográficas (latitud / longitud) o planas.

Las fuentes de datos espaciales son muy diversas, entre las mismas se encuentran: fotografías aéreas, imágenes satelitales, mapas analógicos, datos de campo (por ejemplo, los tomados con GPS), entre otros. La representación de elementos asociados a las bases de datos para SIG pueden ser bajo dos formatos: vectorial o raster⁴ (también llamado de cuadrícula o grilla).

En los sistemas vectoriales, se modelizan datos valiéndose de primitivas geométricas, tales como puntos, líneas y polígonos. Adosados a dichas geometrías, se encuentran los atributos temáticos de los fenómenos que representan. De esta información se pueden obtener diferentes tipos de vectores:

- **Punto:** abstracción de un objeto de cero dimensiones representado por un par de coordenadas (X,Y). Normalmente un punto representa una entidad geográfica demasiado pequeña para ser representada como una línea o como una superficie. Ejemplo: una estación meteorológica, un edificio, una antena.
- **Línea:** conjunto de pares de coordenadas ordenados que representan la forma de entidades geográficas demasiado finas para ser visualizadas como superficies a la escala dada (curvas de nivel, ejes de calles, o ríos), o entidades lineales sin área (límites administrativos). Si la línea presenta curvatura, se denomina **arco**. Ejemplo: ríos, rutas, vías férreas.
- **Polígono:** entidad utilizada para representar superficies. Un polígono se define por las líneas que forman su contorno y por un punto interno que lo identifica. Los polígonos tienen atributos que describen al elemento geográfico que representan. Ejemplo: zonas de vegetación y usos del suelo, catastro, provincias.

Por ejemplo, en el caso de los cursos de agua, modelizados a través de polilíneas, se pueden encontrar atributos como el nombre y categoría de los cursos de agua, el régimen hídrico, el caudal anual, etc.

Las fuentes directas de datos en formato vectorial pueden ser tablas con puntos (X, Y, Z), líneas generadas de continuidades entre puntos, datos provenientes de GPS y navegadores.

En tanto que las fuentes indirectas de datos en formato vectorial son la digitalización manual (plancheta o pantalla) de cartografía papel y/o escaneado o a partir de la vectorización de fuentes ráster.

⁴ Según el glosario normalizado establecido por ISO/TC 211 en el campo de la información Geográfica y las traducciones panhispánicas consensuadas, se puede escribir raster o ráster (http://revistamapping.com/wp-content/uploads/2017/09/4_Recomendaciones_estilo_MAPPING.pdf)

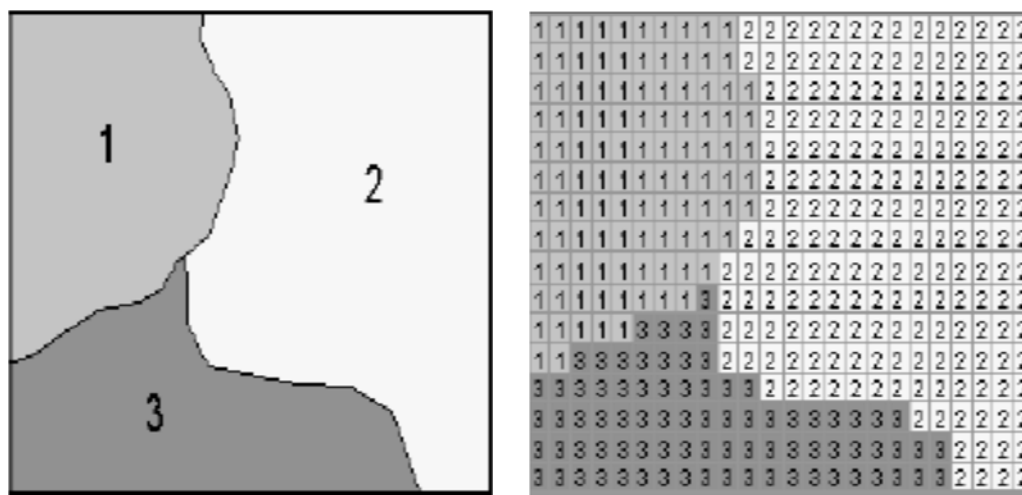


Figura 2. Base de datos de tipo vectorial

Base de datos de tipo raster

Fuente: Gaspari et. al (2009)

Los sistemas raster, de cuadrículas o grilla, permiten representar fenómenos de la realidad que se presentan de manera continua en el espacio. En este caso, el espacio se suele dividir en una malla de celdas regulares o pixel, donde cada una de estas celdas presenta un valor. El conjunto de esas celdas conforma la capa raster generando una base de datos con una unidad básica de información geográfica, donde cada unidad posee coordenadas geográficas (centro del píxel: X, Y) y un identificador (cualitativo o cuantitativo: Z).

Al realizar la transformación de datos vectoriales a raster es muy importante definir la cantidad de filas y columnas de la grilla, ya que al aumentar el número de éstas se disminuye el tamaño del píxel, generando un mayor detalle y precisión al definir los límites de los vectores que integran el mapa (Figura 2).

En forma comparativa, los sistemas vectoriales se utilizan para aportar una mayor precisión gráfica al mapa en la cartografía tradicional, aportando además variación espacial discontinua. En relación al volumen de datos es menor que el que genera un sistema raster. Un sistema raster es utilizado para operaciones de cálculo, para la integración y actualización de datos a nivel areal y por su variación espacial continua.

Procesamiento y creación de bases de datos

La generación de una base de datos SIG consiste en un procedimiento mediante el cual un objeto geográfico recibe directa o indirectamente coordenadas que identifica su posición espacial con respecto a algún punto común o marco de referencia, definiendo una topología entre objetos.

La entrada de datos en un SIG es el conjunto de operaciones para convertir la información analógica del mundo real (ya sea la observada directamente o la disponible en forma cartográfica como mapas papel o base de datos tabular) al formato digital concreto (vectorial y/o raster). Los distintos temas que se pueden incorporar representando la realidad (ubicación de clientes con puntos, calles con líneas, parcelas con polígonos, altitud en curvas de nivel y/o celdas, usos del suelo en celdas), conforman las capas temáticas para procesar y todas deben poseer una misma proyección geográfica, que es el sistema de representación gráfica que establece una relación ordenada entre los puntos / celdas de la superficie curva de la Tierra y los de una superficie plana (mapa) (Figura 3).

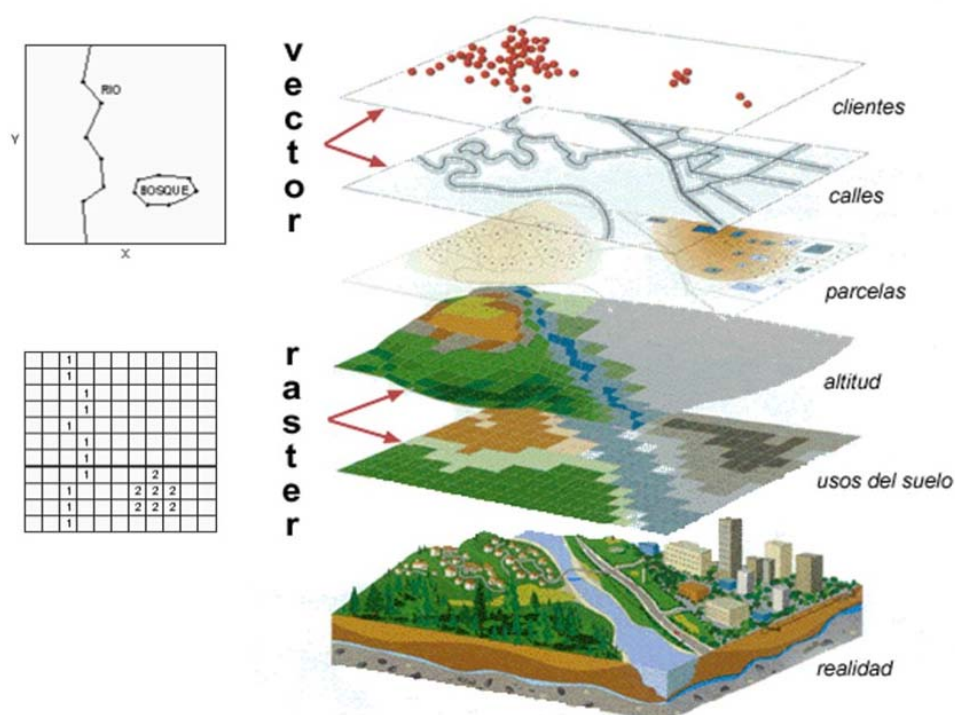


Figura 3. Capas temáticas y sus formatos. Fuente: Ordoñez C. y R. Martínez Alegría (2003).

La conversión analógica / digital de la información geográfica (X, Y, Z) se centra en la correcta representación de la componente espacial de los datos, conociendo su georreferenciación y la descripción en términos digitales de las características espaciales. Este proceso se denomina abstracción.

El objetivo de convertir información geográfica analógica en digital es producir una representación exacta de los datos originales del mapa. Esto significa que todas las líneas que se conectan en el mapa también deben conectarse en la base de datos digital (Naciones Unidas, 2000).

Según el Instituto Geográfico Nacional (IGN), una base de datos geográfica conforma un SIG, que expresa un sistema de base de datos, en el que la mayor parte de los datos están

espacialmente indexados, y sobre el que opera un conjunto de procedimientos para responder consultas sobre las entidades espaciales.

Una Base de Datos Geográfica (BDG) es un conjunto de datos geográficos organizados de tal manera que permiten la realización de análisis y la gestión del territorio dentro de aplicaciones de SIG. Además, una BDG se utiliza de soporte para la implantación de servicios geográficos relacionados con las Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE), y su contenido es la base fundamental en los procesos de producción cartográficos. La espina dorsal de una BDG es el modelo de datos, que consiste en la formalización conceptual (descripción) de las entidades geográficas del mundo real con el objeto de realizar una abstracción que permita satisfacer unas necesidades de información. La implementación del modelo debe de facilitar la explotación y optimizar el almacenamiento para conseguir el mejor rendimiento en las consultas⁵.

Todo lo relativo a la descripción de los diferentes productos de una BDG queda reflejado en las denominadas especificaciones del producto. En ellas se recogen tanto el catálogo de objetos geográficos asociado como el sistema de referencia, la calidad de los datos y los metadatos, así como la captura, el mantenimiento y la distribución de los mismos

El IGN desarrolla proyectos de Investigación y Desarrollo aplicados a la producción cartográfica y el control de calidad en entornos de SIG, creando y manteniendo BDG continuas que permiten generar cartografía bajo demanda en función de los cambios acontecidos en el mundo real, y de esta forma romper con el clásico concepto de hoja de serie cartográfica.

La Infraestructura de Datos Espaciales (IDE), del IGN, está enmarcada en un contexto nacional, regional y global. Esta línea de trabajo busca brindar las capacidades para el almacenamiento, documentación, edición y distribución de los datos geográficos manejados en el ámbito del Instituto, así como también para la distribución de los mismos y sus productos derivados a usuarios externos, instituciones, y organismos del Estado.

La necesaria articulación en la IDE, hace inevitable la adopción de normas y estándares que garanticen la comunicación entre los distintos actores institucionales que conforman la comunidad geográfica. Es importante mencionar los conceptos de interoperabilidad y normalización, entendiéndose interoperabilidad como la posibilidad de interacción entre sistemas diferentes, y normalización como la adecuación de procedimientos, datos y servicios a pautas técnicas establecidas a partir de acuerdos interinstitucionales. En este contexto, el Instituto ha avanzado en la definición de su propio Catálogo de Objetos Geográficos, es decir fenómenos del mundo real asociados a una localización relativa de la tierra, que además poseen atributos y pueden ser representado a través de una primitiva geométrica (punto, línea, polígono, celdas de un ráster, etc.). El catálogo constituye un documento que es una representación abstracta y simplificada de la realidad, y que contiene una estructura que organiza los tipos de objetos geográficos, sus definiciones y características (atributos, dominios, relaciones y operaciones); surge de la Norma Internacional ISO 19.110, establecida por el Comité Técnico especializado en información geográfica, TC 211. También se cuenta

⁵ <http://www.ign.es/web/resources/docs/IGNCnig/CBG-BD.pdf>

con el *Manual de Signos Cartográficos* que representa la fuente principal para la identificación de toda la información geográfica contenida en la cartografía oficial⁴.

Actualmente, el Instituto avanza también hacia la adecuación a las normas surgidas de las diferentes iniciativas IDE en las que participa, como la *Infraestructura de Datos Espaciales de la República Argentina* (IDERA), que ha establecido su perfil de metadatos, la norma para publicación de servicios Web y una primera versión de su catálogo de objetos. De la misma manera, el IGN participa activamente en la definición del catálogo de objetos del *COSIPLAN, Consejo Suramericano de Infraestructura y Planeamiento*, que define y estructura los objetos geográficos que serán utilizados para la planificación regional de las grandes infraestructuras.

Conceptos geomáticos

Geomática es el término científico moderno que hace referencia a un conjunto de ciencias en las cuales se integran los medios para la captura, tratamiento, análisis, interpretación, difusión y almacenamiento de información geográfica, también llamada información espacial o geoespacial.

Las tecnologías Geomáticas, Geoinformáticas o de Geoinformación, como se prefiera nombrarlas, son un conjunto de tecnologías geoespaciales, así como programas informáticos especializados, empleados en el análisis de los datos sobre la tierra y su representación espacial. Hoy en día sería casi imposible gestionar los procesos agrarios sin recurrir al empleo de alguna de ellas, ya que los profesionales modernos de las ciencias agropecuarias, están necesitados de apreciar y evaluar acciones que provocan las fuerzas productivas y la naturaleza sobre la producción agropecuaria. Estas incluyen a los Sistemas Geodésicos de Referencia, los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS), la Cartografía, la Fotogrametría, la Teledetección Espacial y los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Las mismas, se sustentan en los sistemas de conocimientos, teorías y conceptos de las ciencias matemáticas, física, química, la astronomía, la geodesia física y la tecnología espacial; así como en el uso y manejo de bases de datos, computación gráfica y la inteligencia artificial (Konecny, 2003; Ponvert-Delisle, 2012).

Por ello es imprescindible que, en los directivos, especialistas, técnicos y trabajadores agropecuarios, cada uno a su nivel, manejen los conceptos y herramientas que le proporcionan los sistemas de catastros creados en sus respectivas entidades, para lo cual son necesarias un conjunto de condiciones técnicas y organizativas que facilitarían la implementación de los procesos catastrales (Ponvert-Delisle, 2012).

Actualmente, también es usado el término de Ingeniería Geomática, que con base en las definiciones de Geomática se entiende como una disciplina moderna que integra la adquisición, modelado, análisis y gestión de datos espacialmente referenciados, es decir, datos identificados de acuerdo a sus ubicaciones. Basado en el marco científico de la Geodesia, la Ingeniería Geomática utiliza sensores terrestres, marinos, aéreos y satelitales para adquirir

datos espaciales y de otro tipo. También incluye el proceso de transformación de datos espacialmente referenciados de diferentes fuentes en sistemas de información comunes con características de precisión bien definidas⁶.

Junto a ellos, la geomática involucra la intersección de las ciencias básicas (física, matemática, informática), las disciplinas especializadas (informática, geodesia, fotogrametría, cartografía, GIS, etc.) que sustentan la geomática, y sus relaciones y aplicaciones en diferentes campos de actuación como se ilustra en la Figura 4.

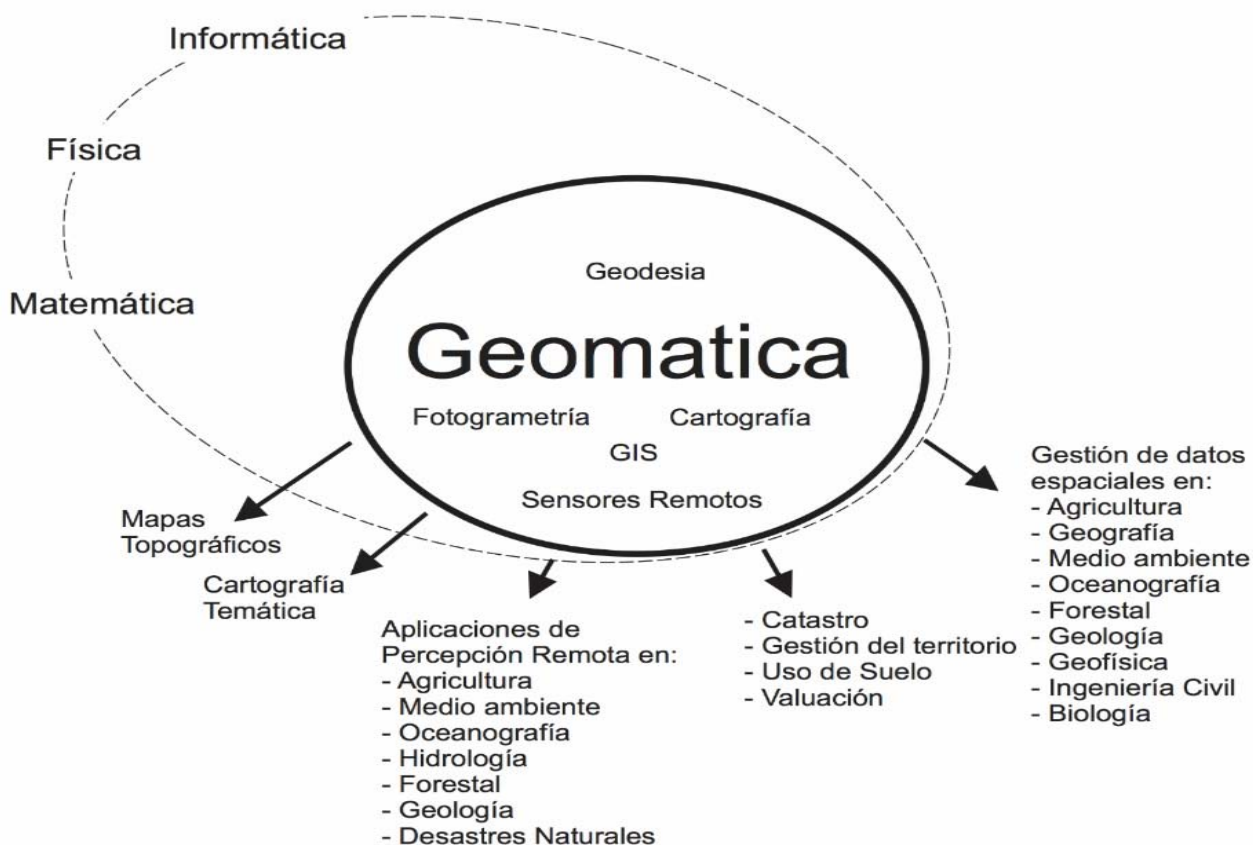


Figura 4. Aplicaciones de la geomática.

Fuente: <http://www2.udec.cl/~geomatic/v2/blog/2017/05/explorando-el-concepto-geomatica.php>

Resumiendo, la *geomática* es un concepto que nace como respuesta a los cambios tecnológicos, sociales y educativos, con la intención de representar la interacción de un conjunto de disciplinas, que por sí solo en general no se considera una ciencia, no obstante, se nutre de fuertes pilares científicos y tecnológicos. Los campos de acción son diversos, y toman lugar en todas las tareas que involucre: recolección, procesamiento, análisis y representación de información geo-espacial.

⁶ <http://www2.udec.cl/~geomatic/v2/blog/2017/05/explorando-el-concepto-geomatica.php>

La aplicación de este concepto en cuencas hidrográficas tiende a reconocer su aplicación a la ordenación agrohidrológica, y la restauración hidrológico-forestal, porque son consideradas como actuaciones técnicas en el territorio, profundamente culturales y pensadas para la población; siendo su propósito final compaginar sus necesidades con las capacidades y limitaciones naturales del medio donde se asientan, para asegurar el presente y futuro de los recursos naturales; lo que actualmente se conoce como desarrollo sustentable (Mintegui Aguirre y Robredo Sánchez, 2008; Gaspari et al., 2013) y su representación con SIG.

El objetivo principal de la ordenación agrohidrológica es la mejora de la calidad de vida de las poblaciones locales mediante la protección de los suelos, la regulación hídrica y la conservación de la biodiversidad. A su vez, la mejora de los recursos económicos propios permitirá generar empleo y estabilizar la población evitando las migraciones en origen, potenciando el desarrollo de los sectores económicos basados fundamentalmente en el aprovechamiento ordenado de los recursos naturales propios: sector forestal, turismo rural, caza y pesca, sector agro-ganadero, productos naturales (miel, hongos, semillas) entre otros (Rábade Blanco, 2006; Gaspari et al., 2013).

Referencias

- Chuvieco, E. (2000). Fundamentos de teledetección espacial. Ediciones RIALP, S. A. Madrid. 568 pp.
- Gaspari, F.J., Senisterra, G.E., Delgado, M.I., Rodríguez Vagaría, A. y S.Besteiro. (2009). Manual de Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas. Primera Edición. La Plata. 321 p.
- Gaspari, FJ; Senisterra, G.E.; Delgado, MI; Rodríguez Vagaría, A. y S Besteiro. (2013). Elementos metodológicos para el Manejo de Cuencas Hidrográficas. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata. 188 p. ISBN 978-950-34-0963-3. Actualización constante on line SED-ICI.
- Konecny, G. (2003). Recent Global Changes in Geomatics Education, The International Archives of the Photogrammetric, CVI. IGAC, 1988, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 34(8).
- Mintegui Aguirre, J. A. y J. C. Robredo Sánchez. (2008). Estrategias para el control de los fenómenos torrenciales y la ordenación sustentable de las aguas, suelos y bosques de las cuencas de montaña. Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO para la América Latina y el Caribe. PHI – VII, documento técnico Nro. 13. 178 pp.
- Ordoñez C. y R. Martínez Alegría. (2003). Sistemas de Información Geográfica. Aplicaciones prácticas con Idrisi 32 al análisis de riesgos naturales y problemáticas medioambientales. Ed. Alfa Omega. México. 227 pp.
- Ponvert-Delisle, Dámaso R, Kelly, Felipe Samuel e I. Reyes Alonso. (2012). Las técnicas geomáticas aplicadas en la agricultura: El catastro agrícola. Revista Ciencias Técnicas

Agropecuarias, 21(4), 84-92. Recuperado en 27 de septiembre de 2018, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542012000400014&lng=es&tlng=es

Rábade Blanco, J. M. (2006). La ordenación agrohidrológica de cuencas como herramienta en la planificación de la lucha contra la desertificación y el despoblamiento del medio rural. Disponible en: [Hwww.sidym2006.com/imagenes/pdf/ponencias/17_se.pdf](http://www.sidym2006.com/imagenes/pdf/ponencias/17_se.pdf)

CAPÍTULO 2

Aplicación en programas de acceso libre y gratuito

Introducción al software libre para procesamiento de información geográfica

Los SIG se están convirtiendo en una herramienta cada vez más importante en los campos de gestión medioambiental, comercial, militar, policial, turística y otras muchas actividades de nuestra vida cotidiana. Si utiliza un ordenador o teléfono móvil, probablemente haya utilizado, de alguna forma un SIG, incluso sin haber sido consciente de ello. Quizá en un mapa de una web, la aplicación Google Earth©, un punto de información o en su móvil mientras le indicaba su posición (Sutton, 2009).

En el preámbulo del *Manual del software QGIS*, Sutton menciona que los desarrolladores de SIG, a veces hacen excepciones a estas restricciones con fines educativos, proporcionando copias más baratas o gratuitas de su software. Esto tiene como objetivo fomentar el uso futuro de su software ya que el usuario será reticente a adoptar una nueva plataforma. Cuando los estudiantes terminen la formación, adquirirán las licencias del software que ya conocen, sin llegar a saber que existen alternativas libres que podrían utilizar. Con el programa de computación QGIS, se ofrece una alternativa de software sin coste y libre en un sentido social, porque se puede realizar tantas copias como quiera. Cuando los estudiantes completen sus estudios algún día, podrán utilizar este software para mejorar sus capacidades, resolver problemas en el trabajo y hacer del mundo un lugar mejor⁷. QGIS es un Sistema de Información Geográfica de código abierto - libre.

El software libre es todo programa informático cuyo código fuente puede ser estudiado, modificado, y utilizado libremente con cualquier fin y redistribuido con o sin cambios o mejoras⁸.

QGIS pretende ser un SIG amigable, proporcionando funciones y características comunes. El objetivo inicial del proyecto era proporcionar un visor de datos SIG. QGIS ha alcanzado un punto en su evolución en el que está siendo usado por muchos para sus necesidades diarias de visualización de datos SIG. QGIS admite diversos formatos de datos ráster y vectoriales, con el nuevo formato de ayuda fácilmente agregado usando la arquitectura del complemento.

⁷ https://docs.qgis.org/2.18/es/docs/gentle_gis_introduction/preamble.html#a-word-from-the-editor

⁸ https://es.wikipedia.org/wiki/Software_libre

Este proyecto fue patrocinado por la dirección principal: Spatial Planning & Information, Department of Land Affairs (DLA), Eastern Cape, en conjunto con la Spatial Information Management Unit, Office of the Premier, Eastern Cape, South Africa⁹.

Familiarización con herramientas / complementos referenciados para el manejo y gestión de cuencas hidrográficas

Este libro de cátedra constituye una guía de comandos básicos, con el fin de guiar al alumno en las tareas a desarrollar durante la realización de Trabajos Prácticos relacionados al Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas. El programa a utilizar es el Sistema de Información Geográfica (SIG) QGIS 3X, que se puede descargar en <https://www.qgis.org/es/site/>.

La interfaz de escritorio consta de una Barra de Menú, otra de herramientas y una de estado con una Tabla de contenidos, como se muestra en la Figura 5. Todas estas rodean al visor de mapas y la vista general. Las dos primeras barras brindan acceso a herramientas para interactuar con el mapa. Presenta los comandos clásicos como ser abrir, cerrar, guardar proyecto, entre otros, en forma de texto y/o icono.

La barra de estado muestra la posición actual en las coordenadas del mapa (por ejemplo, metros o grados decimales) y además visualiza la ubicación del puntero del mouse cuando se mueve a través de la vista de mapa. También se presenta la escala de visualización y un selector de escala que le permite elegir entre las escalas predefinidas de 1:500 hasta 1:1.000.000. Por último, a la derecha de esta barra se puede acceder a la ventana de Sistema de Referencias de Coordenadas (SRC) (Propiedades del proyecto).

La Tabla de contenido o leyenda es la que brinda información particular de cada capa temática describiendo el mapa que se despliega a la derecha en el visor de mapa. Cada capa temática puede ser activada / vista en el momento que lo desee el usuario, por medio del tildado de la casilla de verificación que tiene cada capa. También se puede cambiar su posición/orden visual arrastrando con el mouse hacia arriba o abajo. Significa que las capas que figuran más cerca de la parte superior se dibujan sobre las capas que figuran más abajo.

La vista general puede no estar activa cuando se inicia el programa, y se puede activar según la preferencia del usuario.

⁹ https://docs.qgis.org/2.18/es/docs/gentle_gis_introduction/preamble.html#a-word-from-the-editor

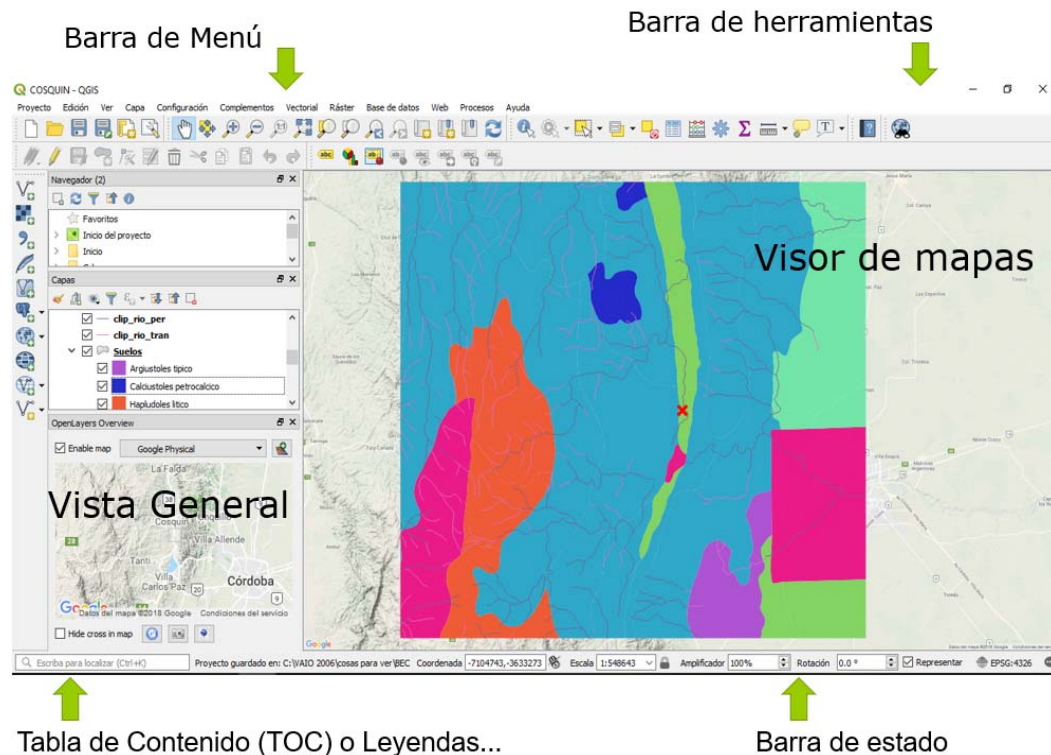


Figura 5. Pantalla principal del QGIS 3. Adaptación propia.


QGIS trabaja con muchos tipos de datos, como por ejemplo archivos vectoriales, raster, bases de datos IDE, en red, y, además, puede crear nuevas capas de información e intercambiar con otros programas de procesamiento geográfico, como se muestra en la Figura 6, que surge del manual del QGIS 3.0. Estas se visualizan en la Barra de herramientas denominada **Administrar Capas**, que se ubica en general, a la izquierda de la TOC.

	Añadir capa vectorial	<i>Cargar archivos shapfile, KML, GML, CAD, etc.</i>
	Añadir capa raster	<i>Cargar imágenes raster, GeoTiff, GIF, JPG, PNG, etc.</i>
	Añadir capas SpatialLite	<i>Cargar información desde los diferentes tipos de bases de datos instaladas localmente o en red.</i>
	Añadir capas PostGis	
	Añadir capa GeoRaster de Oracle	
	Añadir capa WMS	<i>Cargar información de diferentes geoservicios disponibles en la red</i>
	Añadir capa WCS	
	Añadir capa WFS	
	Añadir capa texto delimitado	<i>Carga de archivos con coordenadas</i>
	Nueva capa shapfile	<i>Crear una nueva capa vectorial (puntos, líneas o polígonos).</i>

Figura 6. Iconos del QGIS 3. Fuente: Manual del QGIS 3.0.

QGIS trabaja con archivos que los integra en proyectos, generando una extensión propia del programa (*.qgs), que luego de guardar el proyecto y abrirlo nuevamente, incluye los archivos que estaban abiertos en el momento de guardar el proyecto, es decir los vinculados al mismo. Las propiedades del proyecto se visualizan en una ventana que contiene varias pestañas: la denominada general (muestra la configuración general que expresa la ubicación del proyecto en la computadora, las coordenadas geográficas, la forma de medición, escala); metadatos, sistema de referencia de coordenadas (SRC) que se utiliza en el visor de mapas; estilos de proyecto, variables y otros.

Si bien el programa admite mostrar / visualizar mapas con diferentes proyecciones (proyección al vuelo), es recomendable que todas las capas temáticas utilizadas en el proyecto se encuentren proyectadas en el mismo sistema de referencia, al igual que el visor de mapas.

Para abrir o cargar capas vectoriales a un proyecto se debe hacer clic sobre el icono  que permite añadir capa vectorial o desde menú **Capa** y elegimos la opción **Añadir capa vectorial**, el cual abrirá una ventana donde se exponen *todos los tipos de datos* (vectorial, raster, otras) que puede incorporar al proyecto, no solo el vector, sino también un archivo raster, de texto y muchos otros más. Este proceso también se puede realizar desde **Capa / Administrador de fuentes de datos** (Figura 7 y 8).

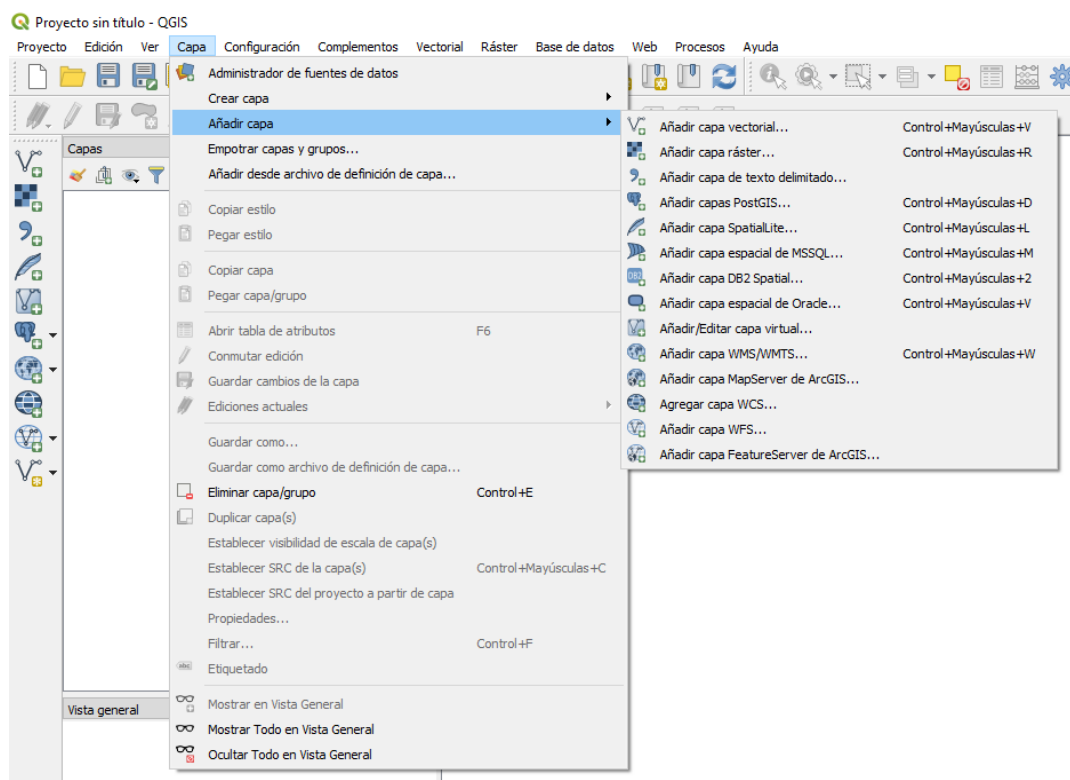


Figura 7.

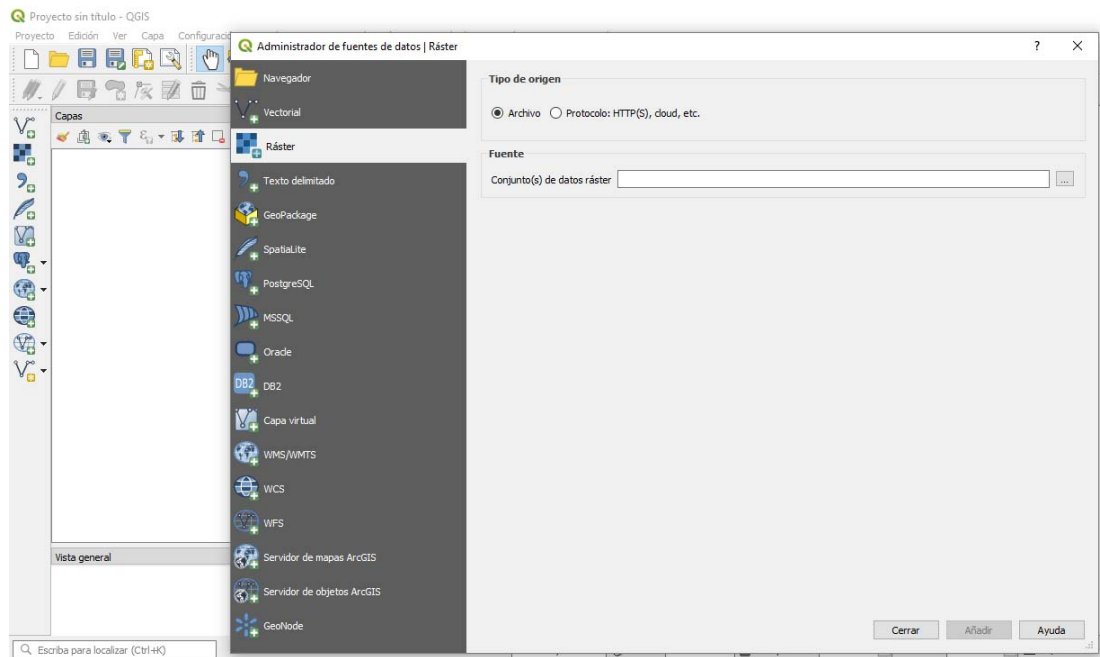


Figura 8.

Abra las capas de Cuencas, Drenajes y Vegetación como ejemplo. Estas se visualizarán en el visor de mapas (Figura 9).

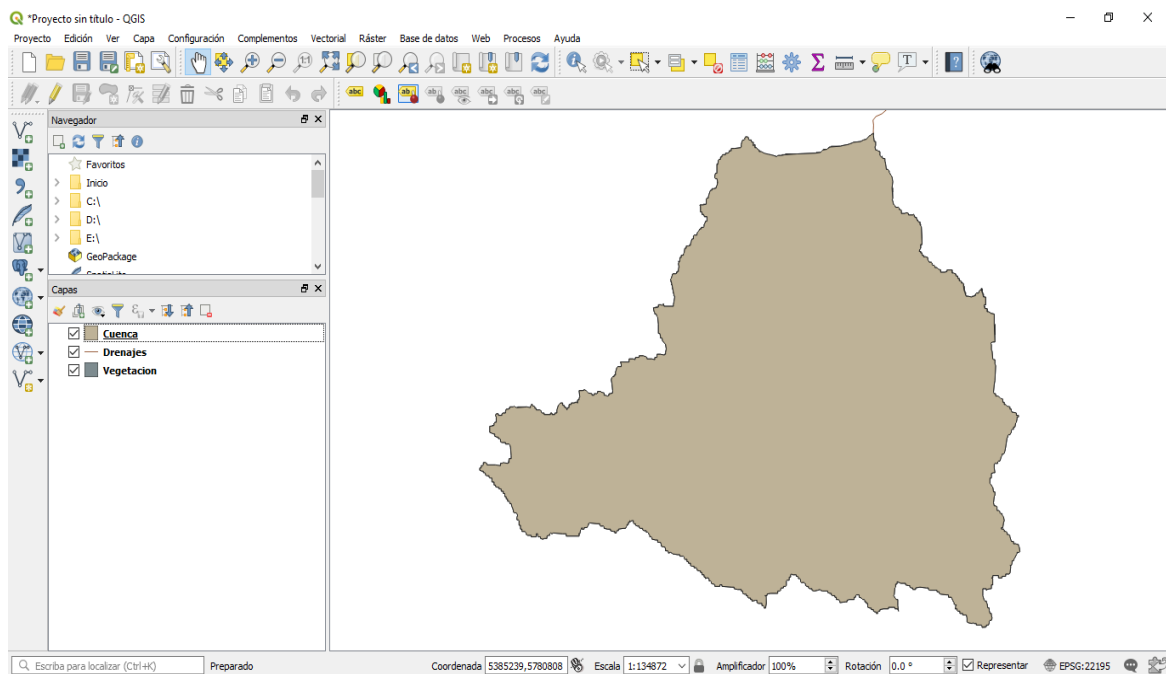


Figura 9.

Una vez abierto el archivo vectorial, el nombre figura en un listado de Capas con una tilde. Si se saca la tilde, esta capa se apaga (no se visualiza). El orden del listado se puede modificar apoyando el puntero del mouse sobre la lista de la capa y llevando hacia arriba o abajo.

Luego, se puede visualizar las características de representación de cada capa (simbología), pulsando con el botón derecho del mouse en la capa abierta y sobre el panel pulse la opción en **Properties**, que son las propiedades de la capa. Esto debería llevarle automáticamente al panel **Simbología** donde Ud. puede cambiar el color, la transparencia, etc. En el primer menú desplegable, se puede seleccionar si la capa posee símbolo tipo simple, categorizado, graduado, etc. Posteriormente se define el relleno, el color y otras características particulares de cada capa a mostrar. Notará algunos ejemplos de símbolos y colores en la parte derecha del panel. En esta pantalla se visualiza el color antiguo y el actual. Una vez seleccionado el símbolo, pulse en **Aplicar / Aceptar**, verá que el relleno cambia de color (Figura 10).

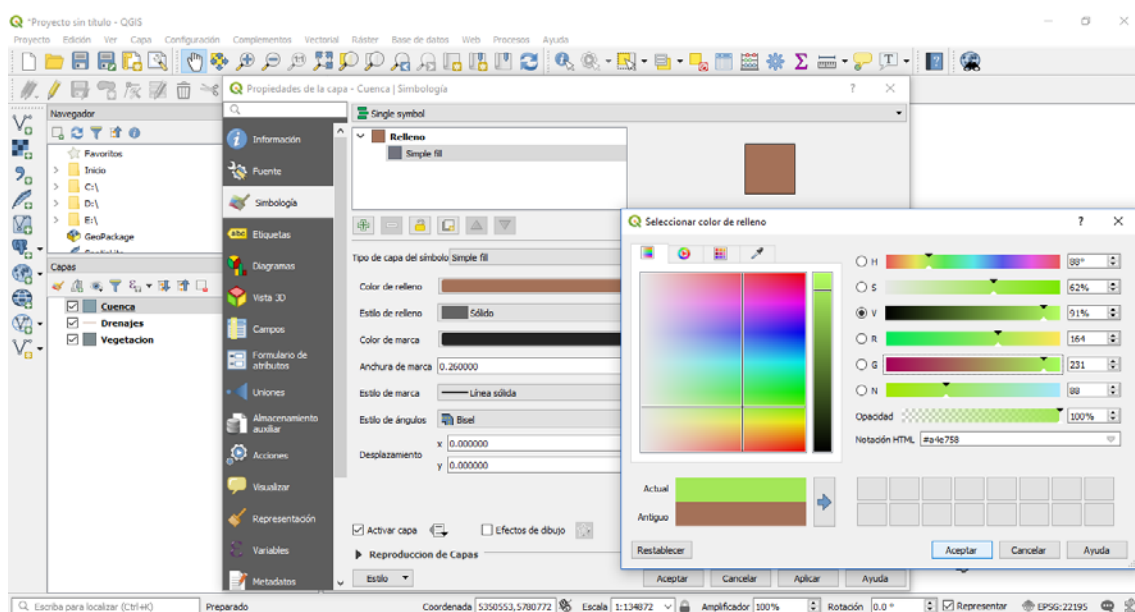


Figura 10.

En el caso de símbolos categorizados en clases, como es el mapa de vegetación, el relleno puede identificar a cada característica según la columna seleccionada. Para ello, marque la columna que quiere representar y luego selecciona la escala de colores o rampa para definir el símbolo (Figura 11 y 12). Por último, haga clic en **Clasificar** y **Aceptar**.

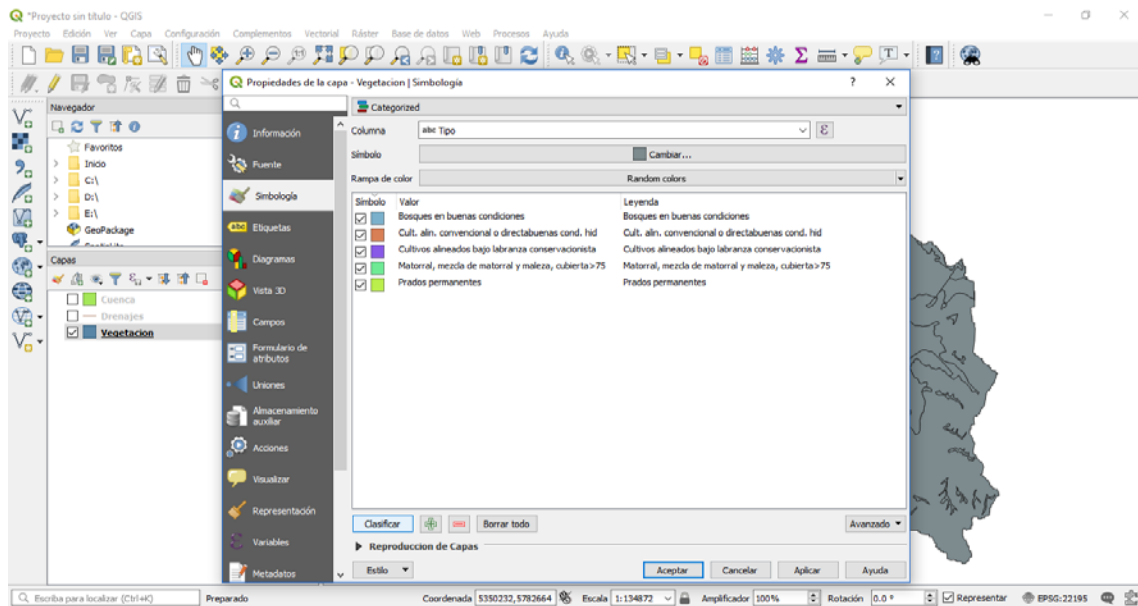


Figura 11.

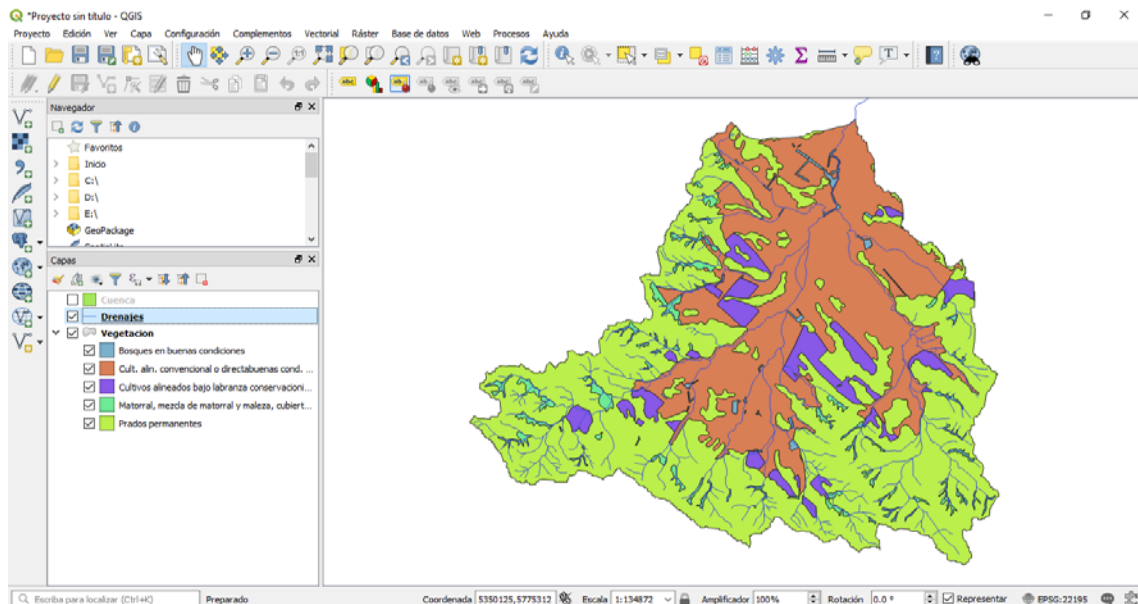


Figura 12.

Una vez concluida la apertura de las capas, puede guardar el proyecto de trabajo, desde **Guardar como** considerando guardar con la extensión de archivo qgs. Este proyecto queda compuesto para cada vez que lo necesite (Figura 13).

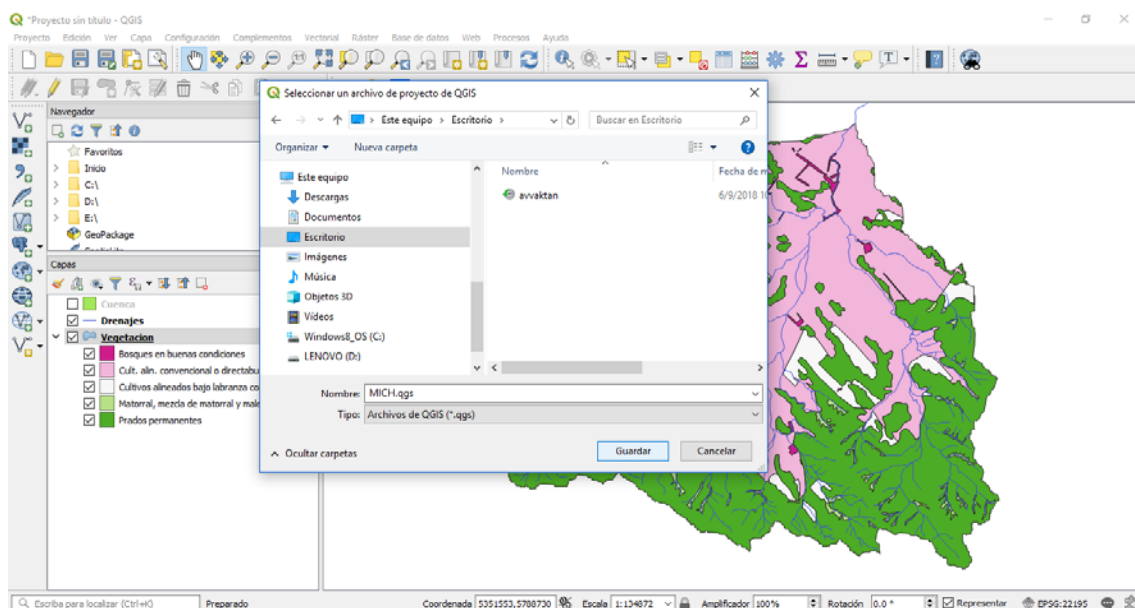



Figura 13.

Composición de mapas para impresión

La representación gráfica de un mapa permite exponer la información de una o más capas de datos de forma atractiva para el observador. En la composición cartográfica se incluyen: datos, cuadrícula, leyenda, escala y flecha de norte, pudiéndose complementar con formas geométricas (flechas, círculos, elipses, etc.), etiquetas descriptivas y textos, entre otros.

Crear nueva Composición

Para crear una composición de mapas de impresión haga clic en el icono de **Administrador**

de Composiciones  de QGIS Desktop. A continuación, haga clic en el cuadro **Create**, se abrirá una ventana donde deberá colocar un nombre a la composición que será creada (Figura 14) y a continuación acepte para abrir la nueva composición de impresión en blanco (Figura 15).

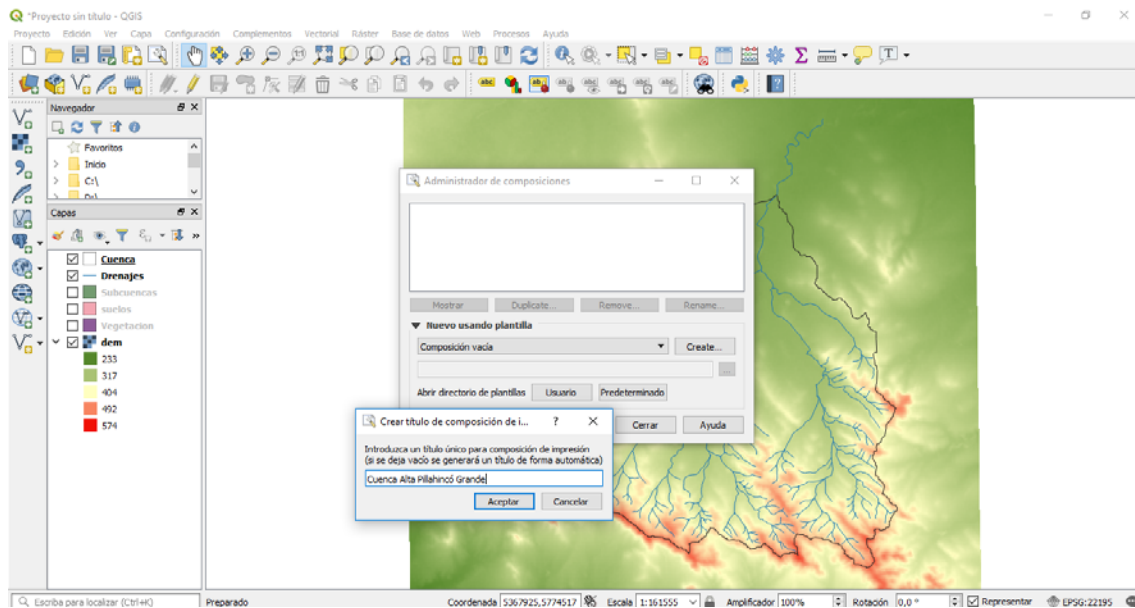


Figura 14. Creación de nueva composición de mapas de impresión

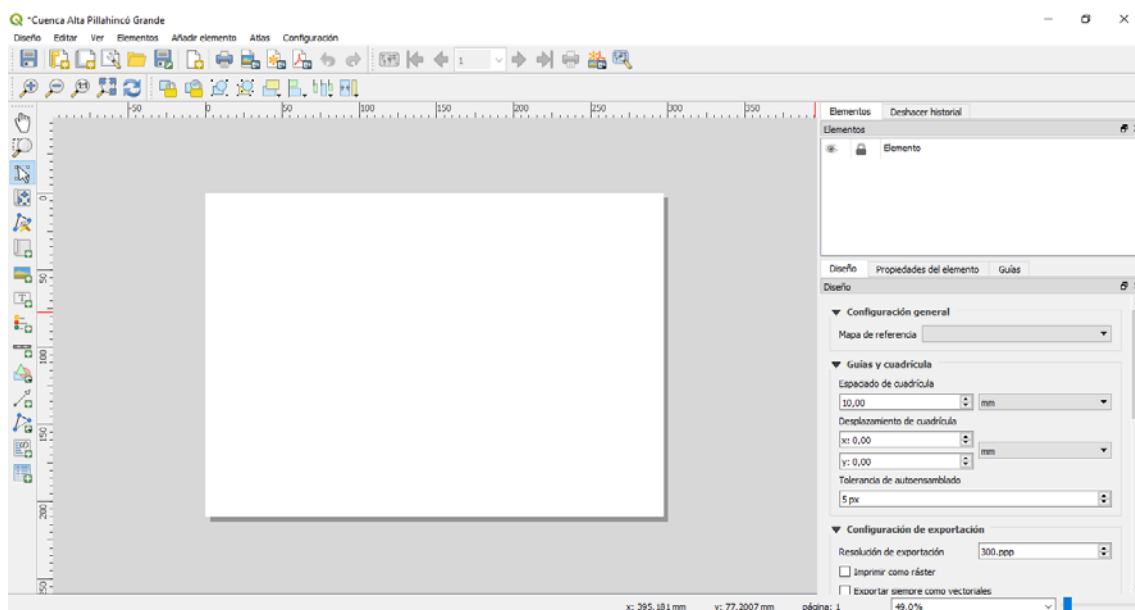


Figura 15. Nueva composición de mapas de impresión en blanco.

A través del gestor de composiciones puede crear nuevas composiciones, duplicar una existente, mostrar una existente o eliminarla. Duplicar composiciones posee un gran valor cuando se quieren representar diferentes datos manteniendo las características de la composición.

Configurar características de la página

El primer paso será definir el tamaño de hoja de la composición. Por defecto, el tamaño corresponde a una hoja A4, con diseño horizontal. Para cambiar las dimensiones vaya a la Barra de **Menú / Diseño** y seleccione **Page Setup (Configurar página)**, se abrirá un cuadro donde podrá seleccionar el tipo de hoja (tamaño y orientación) y sus márgenes (Figura 16).

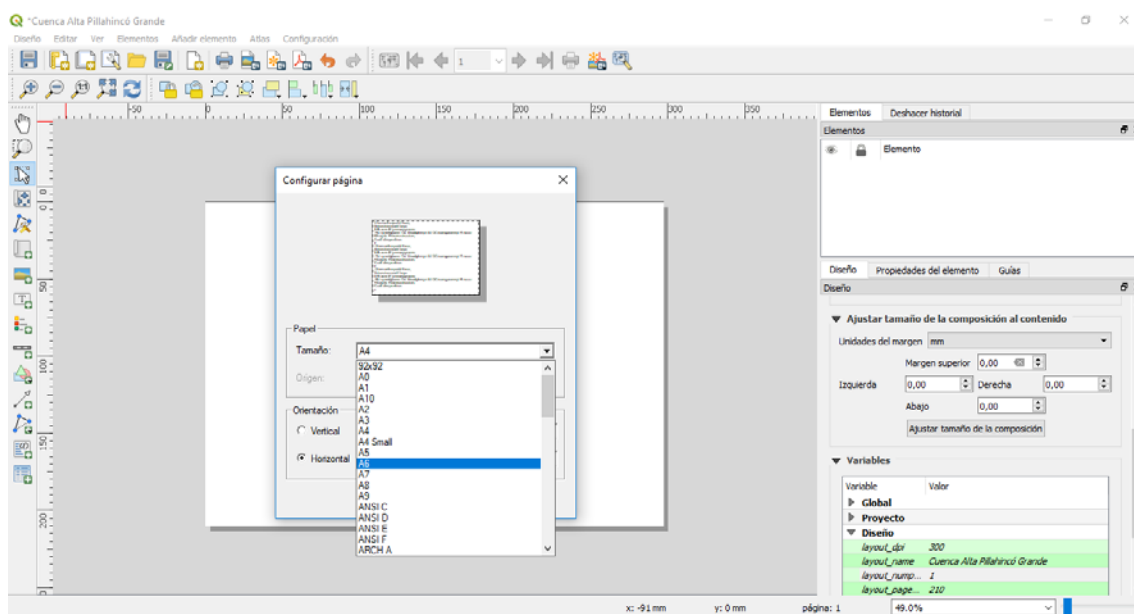


Figura 16.

Generalidades


Con el fin de facilitar la elaboración de composiciones, el programa dispone de una serie de iconos que constituyen accesos directos para la creación y manipulación de los elementos presentes en la composición, cada uno de estos elementos además puede ser duplicado o eliminado desde la pestaña **Editar**. En el gestor de elementos, puede bloquearse la modificación de cada uno de los elementos que integran la composición con el fin de evitar acciones indeseadas. También puede dejar de visibilizar elementos mientras se operan otros.

En esta guía se referirá mayormente a la creación de elemento a través de los iconos y su modificación en términos generales, ya que cada elemento, posee muchas características susceptibles de ser cambiadas a gusto del usuario.

Añadir formas geométricas

Una vez ajustadas las características de la hoja comenzaremos a crear la composición añadiendo elementos al mismo. Cada elemento creado, aparecerá con un nombre por defecto en

la pestaña “Elementos” en el panel derecho, en la solapa “Propiedades del elemento” puede cambiar las características del mismo con el fin de ajustar su apariencia.

Por diseño, en este ejemplo, se crearán 2 rectángulos que delimitarán el área del mapa y el área de las referencias (título, mapa general de ubicación, leyenda y escala). Para crear estas figuras geométricas haga clic en el icono **Añadir forma**  y a continuación defina sus límites a través de 2 puntos con el mouse y su formato a través de sus propiedades (Figura 17).

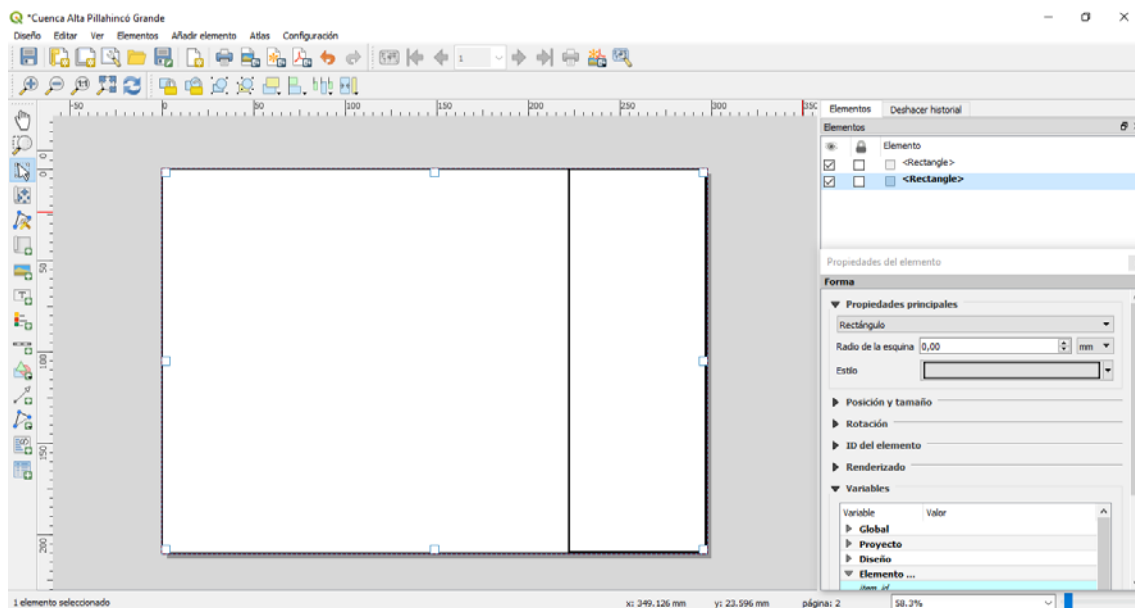




Figura 17.

Mover elementos

Para ubicar un elemento en la posición adecuada o ajustar su tamaño de manera manual con el mouse, utilice el icono **mover elemento** .

Añadir textos

Para añadir títulos, subtítulos u otra información de texto en la composición utilice el icono **Añadir etiqueta** , con el mouse cree un cuadro que contendrá el texto que desee. Para crear el texto y definir sus propiedades, tales como tamaño y tipo de letra, color, alineación, etc., utilice el cuadro de propiedades del elemento (Figura 18).

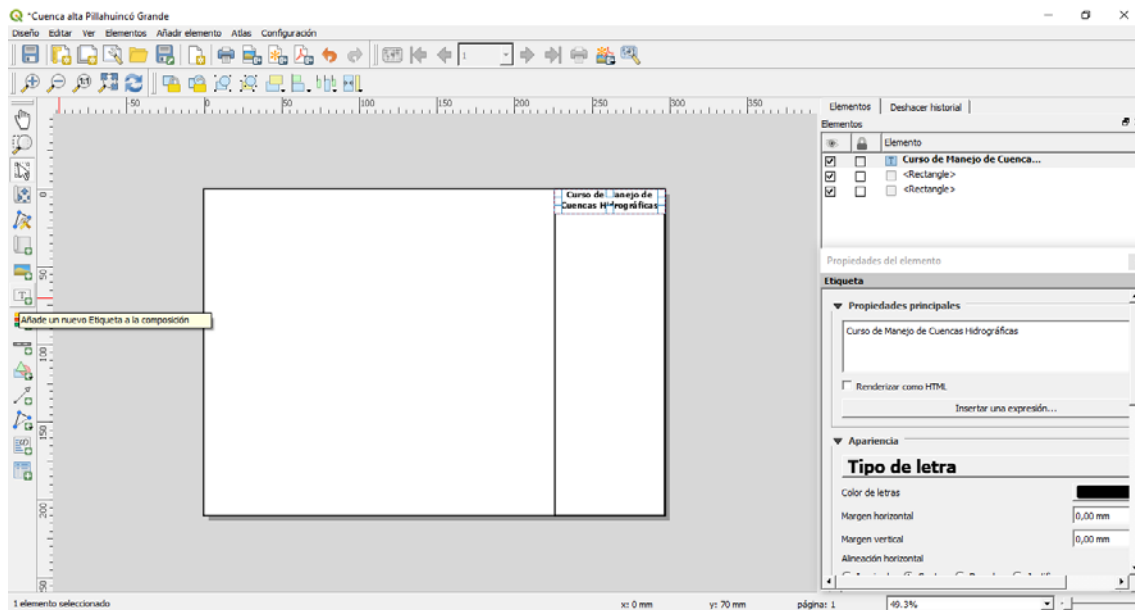





Figura 18. Inserción de textos y definición de sus atributos.

Añadir mapas

A través del ícono **Añadir Mapa** , se introducen todos los elementos que se encuentran visibles en el proyecto (Figura 19). Para ello cree un cuadro con el mouse donde se definirá el tamaño del mismo. En caso de querer modificar su tamaño con posterioridad utilice **Mover**  **elementos**, para mover el contenido utilice el ícono **Mover contenido** .

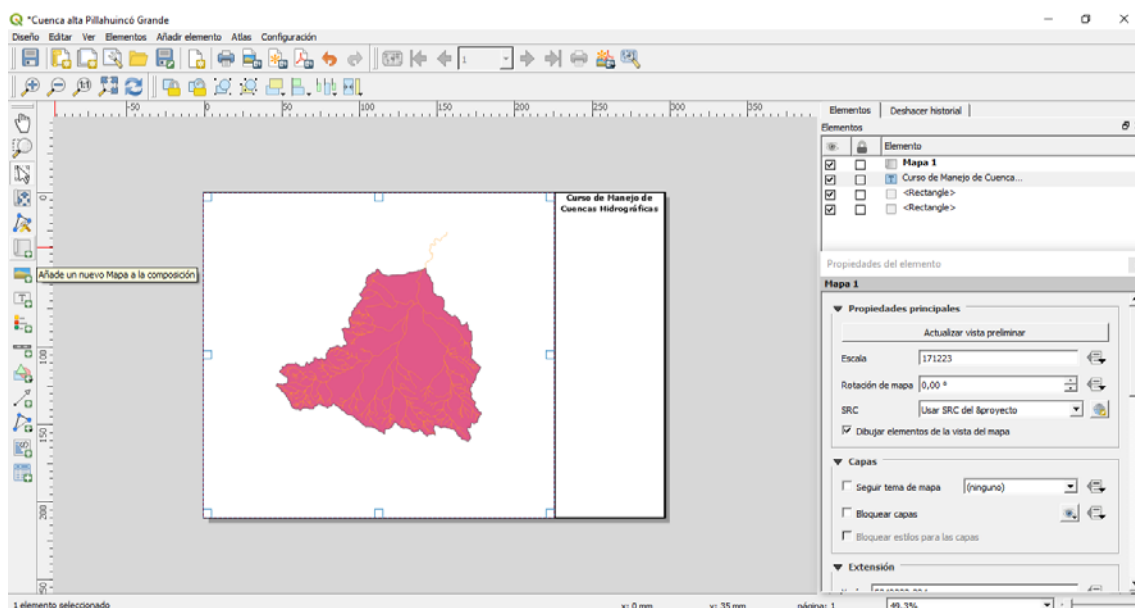


Figura 19. Adición de mapas al diseñador de impresión.

Las propiedades de las capas que están en el proyecto, tales como su simbología y etiquetas deben ser definidas para cada una de ellas a través de las propiedades de la capa, haciendo doble clic en la capa o con el botón derecho del mouse y seleccionando propiedades. En el cuadro de dialogo se configura la simbología y etiquetas (Figura 20).

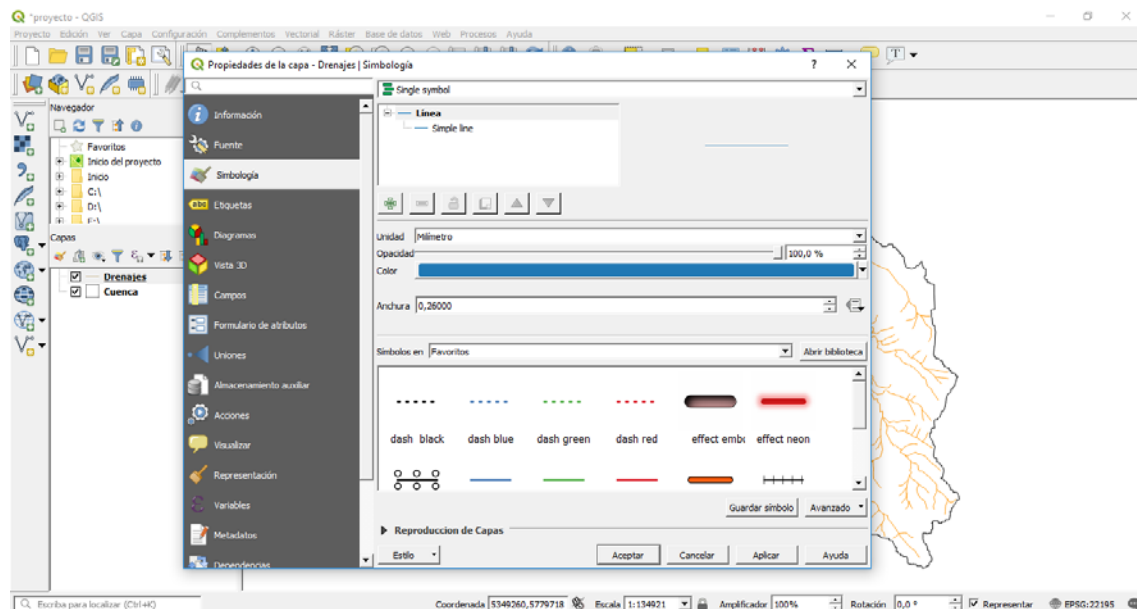



Figura 20.

Ajustar propiedades del mapa

En el cuadro de propiedades del elemento se definen todas las características del mismo.

En el cuadro escala se define el tamaño del mapa, para ello, coloque la escala que se adecue a sus necesidades.

En el cuadro SCR se define la georreferencia de la composición, haciendo clic en el icono selector de **Sistemas de referencia de coordenadas (SRC)**  dentro de las Propiedades principales (Figura 21). Se recomienda trabajar con coordenadas planas. En este ejemplo práctico se aplicaron Coordenadas Planas para Argentina. En la actualidad se utiliza POSGAR 2007.

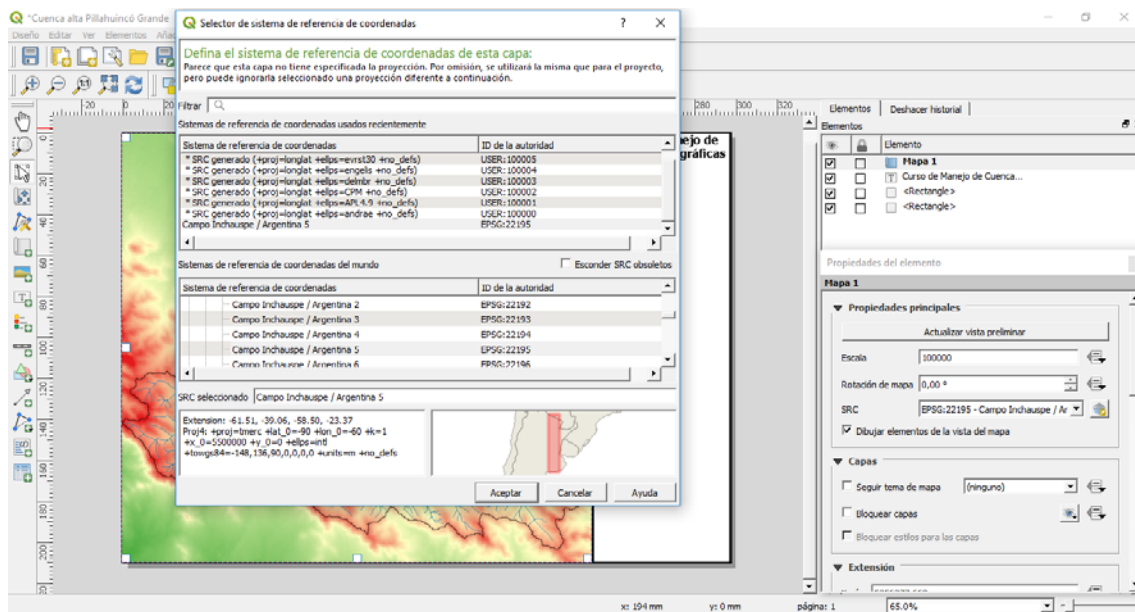


Figura 21. Definición de la georreferencia de la composición con el selector de SRC.

Definición de cuadrículas

Para definir la visualización de una cuadrícula o malla, despliegue el ítem cuadrículas y agregue una **Nueva cuadrícula (+)** y luego seleccione **Modificar cuadrícula** (Figura 22). Se desplegará un cuadro donde definirá las propiedades de la misma, tales como tipo de cuadrícula, intervalo, visualización de coordenadas, tamaño y ubicación de las mismas, entre otras.

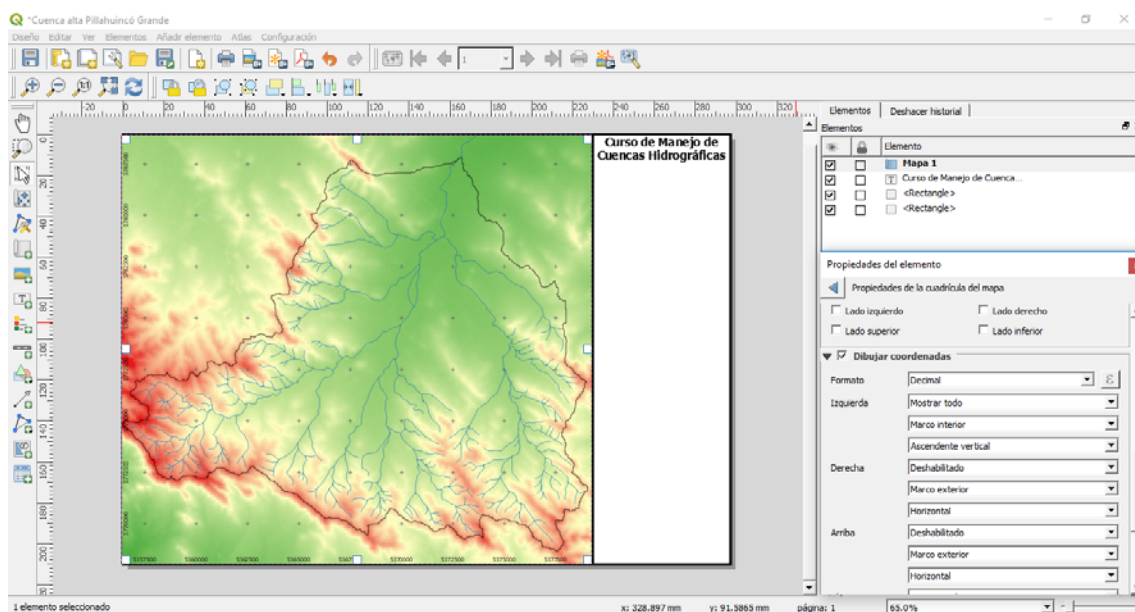




Figura 22. Creación y definición de propiedades de la cuadrícula.

Añadir Norte

Para introducir un gráfico de flecha o rosa de los vientos con el fin de otorgar la definición del Norte geográfico, utilice el icono **Añadir imagen**  y cree el cuadro donde se ubicará la misma con el mouse. Debe notarse que este grafico que representa el norte, corresponde a una imagen, por lo cual es indispensable conocer la ubicación del mismo en el mapa inserto en la composición y de ser necesario debe rotarse desde las propiedades del elemento.

Para introducir la imagen haga clic en el icono  de propiedades de la imagen, donde deberá buscar la ruta de origen de la imagen. QGIS posee una carpeta con imágenes que representa en Norte, ubicada en su computadora en la ruta `\\QGIS 3.2\\apps\\qgis\\svg\\arrows` en la carpeta de instalación del programa (Figura 23).

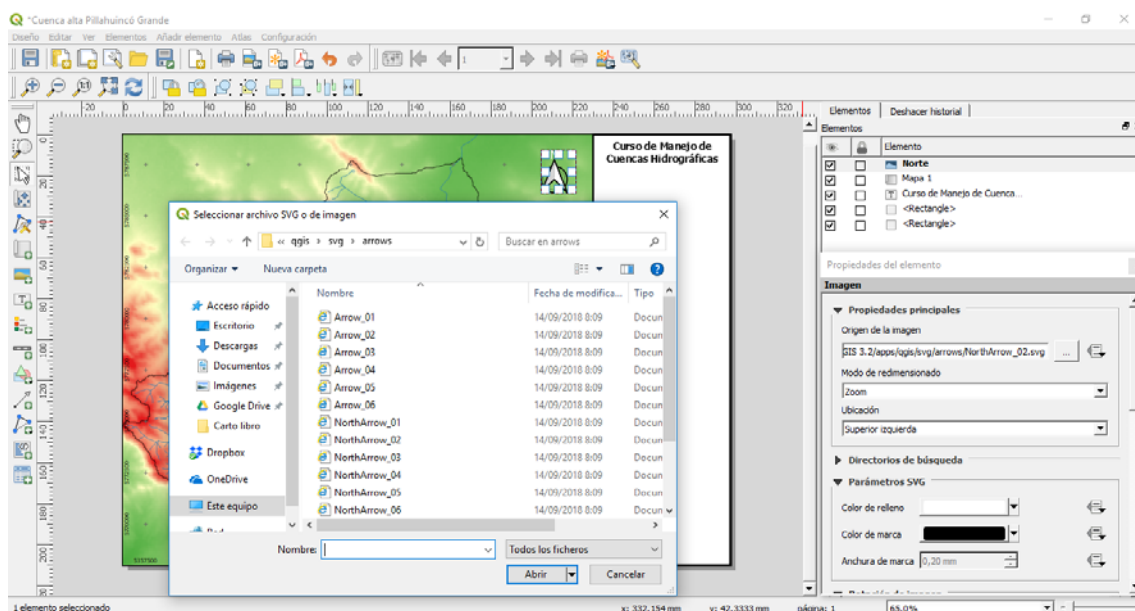



Figura 23. Introducción de Norte geográfico.

Escalas

Para añadir escalas, utilice el icono **Añadir barra de escala**  y cree el cuadro donde se ubicará la misma con el mouse. En las propiedades del mismo puede seleccionar el estilo gráfico o numérico, las unidades, divisiones y tamaño. Nótese que, al incluir una escala con formato numérico, su valor está ajustado al tamaño de la hoja de composición, con lo cual la impresión debe realizarse en el tamaño para el que fue diseñado. Si la composición fuese impresa en otro tamaño, la imagen se achica o agranda motivo por el cual la escala numérica no refleja una escala real.

Si el usuario quiere colocar una escala gráfica y una numérica, debe añadir 2 barras de escala configurando una como escala gráfica y otra como numérica (Figura 24).

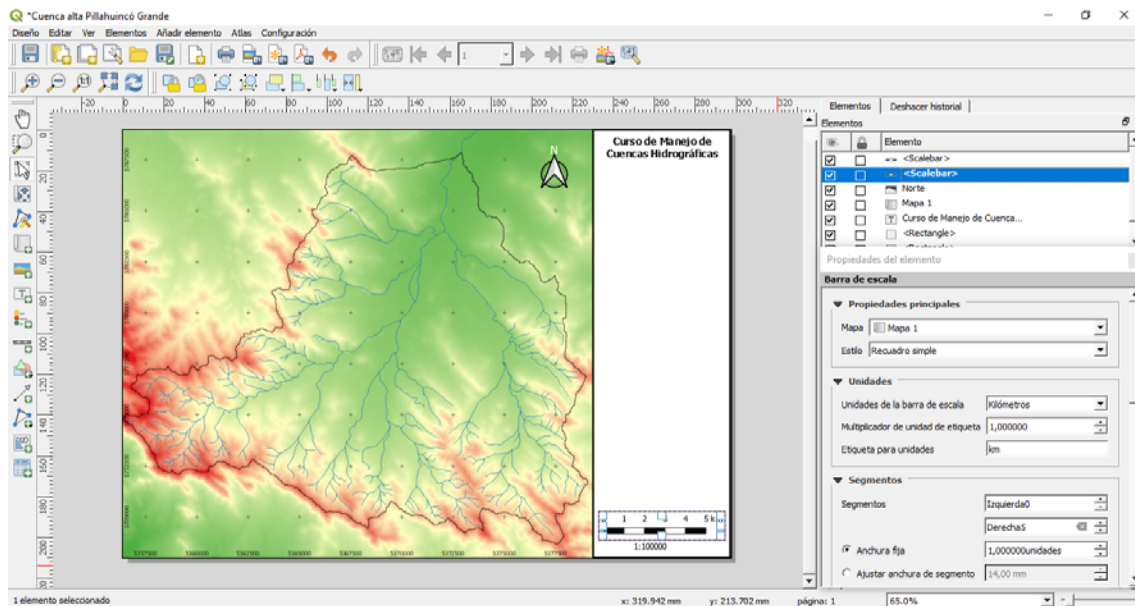



Figura 24. Inserción de escalas gráficas y numéricas.

Añadir leyendas

Para insertar leyendas utilice el icono **Añadir Leyenda**  y cree el cuadro donde se ubicará la misma con el mouse. En las propiedades del mismo puede colocar un título que haga referencia a la misma y configurar su alineación. Para modificar su contenido, en elementos de la leyenda destilde el casillero “Auto actualizar”.

Para modificar las referencias de la misma, haga doble clic y se abrirá un cuadro de texto donde podrá modificar el contenido del texto (Figura 25).

Para cambiar el orden, agregar más elementos a la leyenda o quitarlos utilice la barra disponible debajo de los ítems que conforman la leyenda.

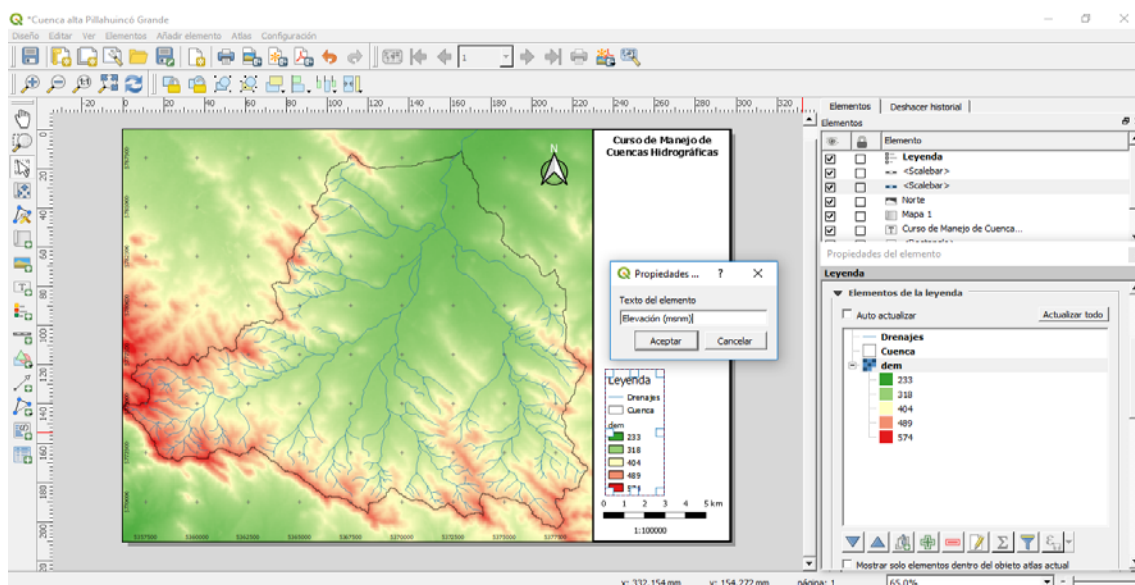



Figura 25. Creación de leyendas.

En las propiedades del elemento leyenda dispone de una serie de opciones para modificar la apariencia de la misma. En ella se incluyen la cantidad de columnas que integran, el formato del texto, la separación de caracteres y la simbología, entre otros.

Insertar líneas y flechas

En caso de querer insertar alguna línea o flecha para mejorar la visualización o querer resaltar el contenido de algún elemento del mapa, utilice el ícono **Añadir flecha**  y con el mouse haga clic en el punto de inicio y fin de la misma. En propiedades del elemento defina sus características (Figura 26).

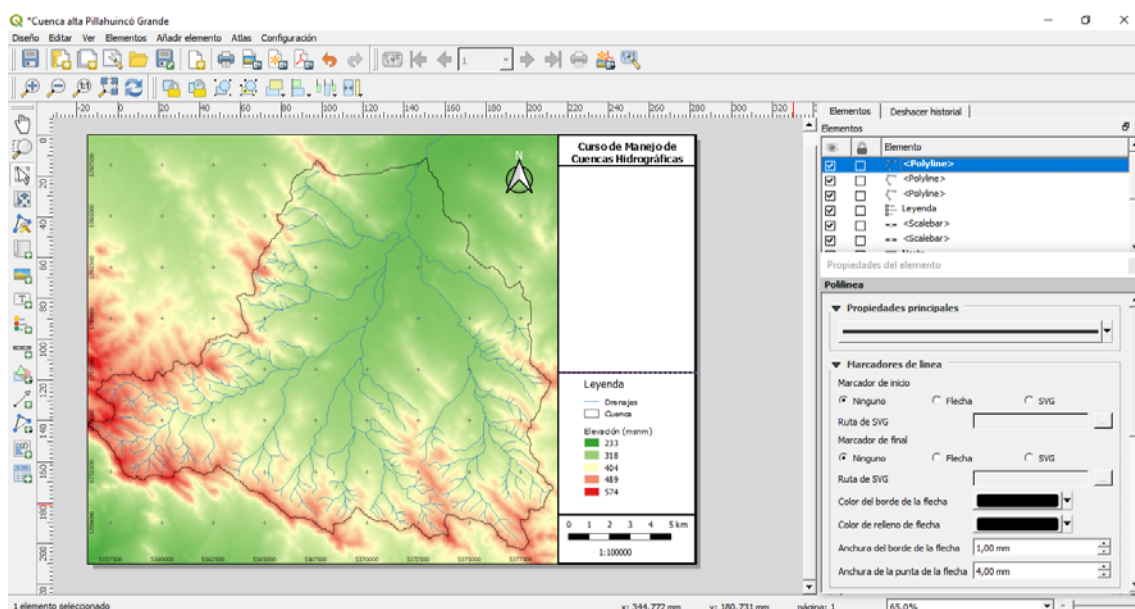


Figura 26. Inserción de líneas o flechas.

Generación de otro mapa en la composición

Si se deseara insertar 2 o más mapas en la composición, tal como se mencionó, se introducen / añaden todos los elementos que se encuentran visibles en el proyecto y las propiedades de las capas, como su simbología y etiquetas. Esto genera, que el nuevo mapa, tome las mismas características de simbología que el primero, y si fuesen cambiadas, también lo harán los mapas insertos en la composición original.

Para poder introducir un nuevo mapa con nuevas características, debe tildarse los casilleros “Bloquear capas” y “Bloquear estilos para las capas”. De esta manera el mapa en la composición no tendrá ningún cambio cuando se inserten nuevas capas o se modifiquen las existentes (Figura 27).

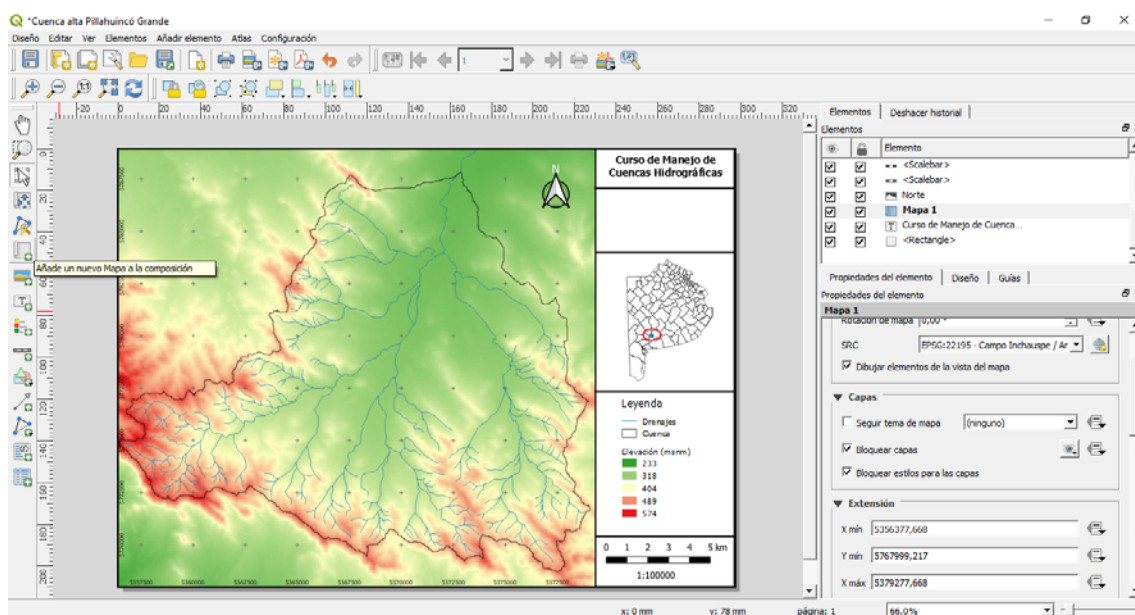




Figura 27. Inserción de un nuevo mapa y bloqueo de las propiedades del existente.

Exportar composiciones

Para exportar las composiciones utilice los iconos **Exportar a un formato de imagen** ,

Exportar como PDF  o **Exportar como SVG** . Cuando exporte la composición a un formato de imagen se abrirá el cuadro de dialogo **Guardar composición como**, donde se configura el tipo de imagen y el nombre / directorio donde se creará. A continuación, otro cuadro de dialogo se abrirá para definir la resolución de la misma (Figura 28).

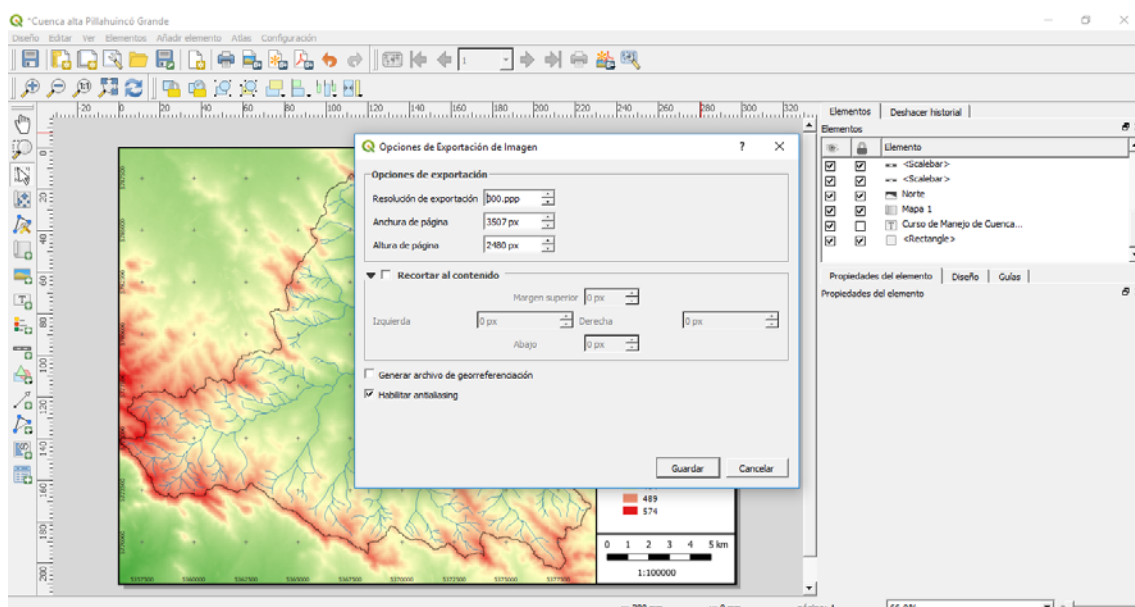


Figura 28. Definición de la resolución de la imagen a ser creada.

Ejemplo de composición

La Figura 29 muestra el resultado final de la composición que, en este ejemplo, constituye un archivo en formato jpg con una resolución de 300 ppp, que incluye 2 mapas, uno correspondiente a la Cuenca Alta del Arroyo Pillahuincó Grande (cuenca, drenajes y elevación) y otro a la ubicación de la cuenca en la Provincia de Buenos Aires (municipios, cuenca y marca de ubicación).

Es importante recordar que las composiciones generadas durante el desarrollo de un proyecto de Manejo de Cuencas Hidrográficas se deberán incluir siempre: **red de drenaje, límite de cuenca, norte geográfico, leyenda, escala y grilla de georreferencia.**

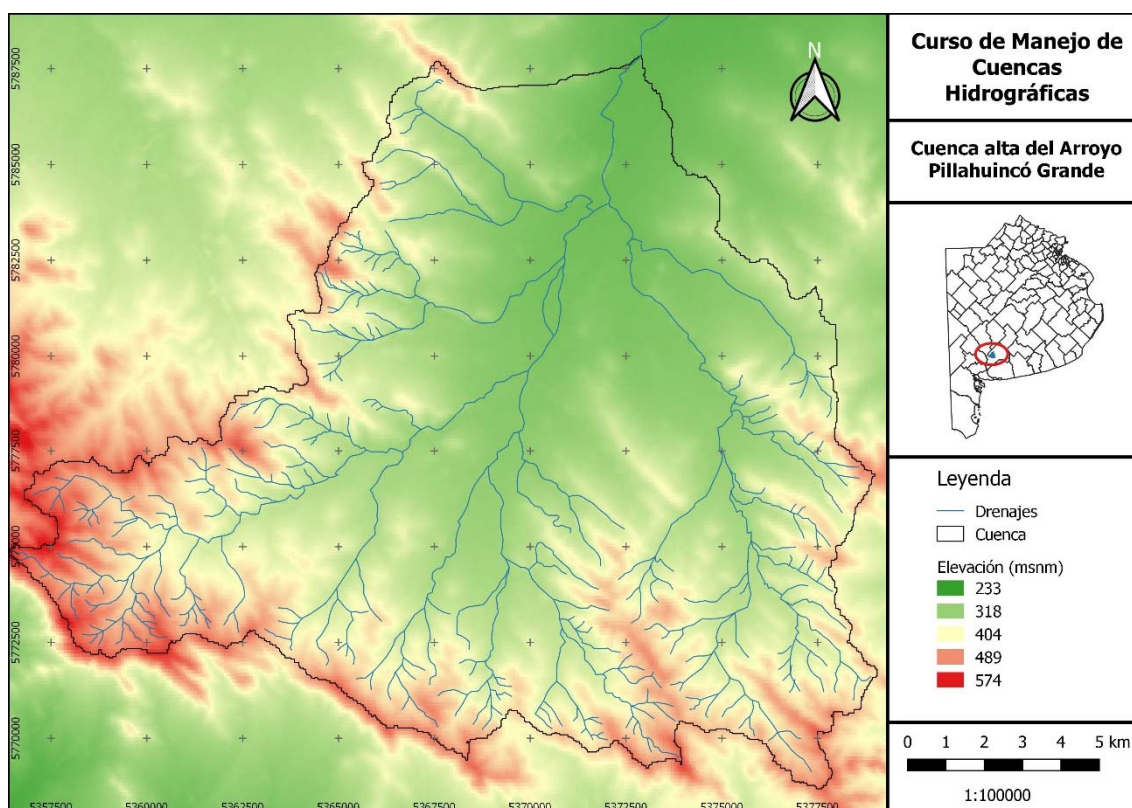


Figura 29. Cuenca Alta del Arroyo Pillahuinco Grande.

Referencias

Sutton, T. (2009). Preámbulo del Manual de QGIS, una herramienta software SIG Gratuita y Open Source para todo el mundo.

https://docs.qgis.org/2.18/es/docs/gentle_gis_introduction/preamble.html#a-word-from-the-editor

CAPÍTULO 3

Definición de cuenca hidrográfica y morfometría

Concepción y comportamiento del agua en una cuenca hidrográfica

La forma de la superficie terrestre es el resultado de un balance dinámico de la litósfera, entre procesos constructivos y destructivos. Su estudio se expresa en la geomorfología, que estudia las formas del relieve, resultado de la interacción entre la climatología, la hidrografía, la pedología, la glaciología y la incidencia de fenómenos biológicos, geológicos y antrópicos. En particular, el relieve origina unidades topográficas denominadas cuencas hidrográficas. Desde el punto de vista de su funcionamiento, una cuenca hidrográfica puede caracterizarse por su morfología, por la naturaleza del suelo y por la cobertura vegetal y uso del suelo (Gaspari et al., 2012). Particularmente, la descripción física espacial de una cuenca se realiza a través de sus propiedades morfométricas, la cual permite realizar comparaciones entre distintas unidades territoriales. Según TRAGSA (1994) el funcionamiento puede caracterizarse por la relación de su morfología, textura, tipo de suelo y cobertura vegetal.

Hidrológicamente, la cuenca funciona como un colector que recibe la precipitación y convierte, parte de ésta, en escurrimiento. Esta transformación depende de sus condiciones climáticas y de las características físicas particulares (Gaspari et al., 2009). La morfometría de cada cuenca hidrográfica, ante eventos climáticos, está relacionada con la posibilidad de aprovechamiento hídrico y con la generación de una respuesta a los mismos, como la escorrentía superficial expresada en términos de caudales, la incidencia en el transporte de sedimentos y nutrientes a lo largo de los ecosistemas que la integran (Gaspari et al., 2012).

Cerignoni et al., mencionan que la dinámica ambiental de un área puede ser estudiada mediante la caracterización de su paisaje y elementos, e incluso puede ser analizada a través de serie de parámetros. Un tipo de análisis posible es el análisis morfométrico, cuyo objetivo general es el análisis de la disposición y distribución de ciertos elementos en el paisaje. Para ello, se utilizan índices que relacionan estos elementos del paisaje con sus atributos (Cherem et al., 2011).

Las principales características físicas que influyen en estos procesos son las relacionadas a la morfometría de la cuenca: forma, relieve y red de drenaje, derivadas de su geomorfología. Las características morfométricas permiten comparar cuencas hidrográficas a partir de la des-

cripción precisa de la geometría de las formas superficiales, alcanzando conclusiones preliminares sobre las características ambientales del territorio (Senisterra et al, 2014). El estudio morfométrico tiene relevancia porque permite considerar variables de forma, relieve y red de drenaje, que revelan el comportamiento morfodinámico e hidrológico de las cuencas para prevenir percances en casos de excesos de precipitación y ayudar a la planeación del uso sostenible de la misma (Domínguez et al., 2003). Por su parte, Arriaga et al. mencionan que la caracterización de una cuenca es un paso importante para las políticas de administración sostenible, dado que actualmente no se tienen estudios sobre el comportamiento del flujo hídrico y morfométrico que determinen su dinámica (Matter et al., 2009; Salas-Aguilar et al, 2011).

El cálculo de los parámetros morfométricos se realiza con operaciones matemáticas, y desde el desarrollo tecnológico de la geoinformática, se ha podido obtener estos parámetros de forma automatizada mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG), (Delgado y Gaspari, 2010; Senisterra et al, 2014). Las propiedades morfométricas de una cuenca hidrográfica proporcionan una descripción física - espacial ofreciendo conclusiones preliminares sobre las características ambientales del territorio a partir de la descripción precisa de la geometría de las formas superficiales.

El uso de sistemas de información geográfica (SIG), en particular el análisis de superficies a través de modelos digitales de elevación, representa una alternativa que ha tomado relevancia en estudios de parámetros morfométricos por ser útil para analizar características de un ambiente. La aplicación de tecnología geoespacial (TG), permitirá evaluar el funcionamiento del sistema hidrológico de la región, estimar y almacenar los datos de las características descriptivas del área mediante programas de cómputo en forma coherente y sistematizada; además de ayudar en el manejo y planeación de los recursos naturales de toda la cuenca a bajo costo y menor tiempo (Salas-Aguilar et al, 2011). El SIG conforma herramientas tecnológicas muy adecuadas para analizar la regionalización de variables hidrológicas, así como la clasificación de áreas homogéneas ecológicamente (Gaspari y Kruse, 2011).

El análisis de las características morfológicas y funcionales de una cuenca se basa en establecer y analizar los parámetros morfométricos de forma, de relieve y relativos a la red hidrográfica, mediante el uso de SIG y apoyo en planillas de cálculo, que puede ser enriquecido con un análisis general topográfico de manera de integrar el relieve y el propio trazado de los ríos. Es un concepto fundamental en el análisis de la hidrografía, en especial, en el estudio de las aguas superficiales continentales. Es importante recordar que, desde el punto de vista hidrológico, una cuenca hidrográfica se define como el territorio que ocupa el cauce de un río principal y sus afluentes, cuyos límites son definidos por la topografía del terreno a partir de las divisorias de aguas.

El cauce o lecho de un río es el canal natural por el que circulan las aguas generadas dentro de la cuenca hidrográfica. En un análisis integrador de la superficie de la cuenca con su cauce (laderas), intervienen dos conceptos: perfil transversal y el longitudinal.

Perfil transversal representa el perfil que indicaría el fondo del cauce y la divisoria topográfica hacia ambos lados, indicando una depresión cóncava con la parte más profunda donde circula el río.

Perfil longitudinal indica el talweg desde la divisoria de agua de la cuenca hasta su desembocadura. Además, describe la forma en el que éste varía su cota a lo largo de su longitud y recorrido; de tal modo que refleja la pendiente de cada tramo, determinada por las condiciones impuestas por el tramo aguas arriba.

La representación gráfica expresa la capacidad erosiva del río por medio de la relación entre la distancia recorrida desde su nacimiento y la altura relativa de cada punto de dicho perfil. Cabe mencionar que el perfil longitudinal y el mapa topográfico son descripciones continuas de la superficie (Gaspari et al., 2012).

El funcionamiento de una cuenca se asemeja al de un colector que recibe la precipitación y la convierte en escurrimiento, dependiendo de las condiciones climáticas y las características físicas de la cuenca. Desde este punto de vista, una cuenca hidrográfica puede caracterizarse por su morfología, por la naturaleza del suelo y por la cobertura vegetal y uso del suelo (Gaspari et al., 2013). La influencia de estos factores sobre la transformación de la precipitación en escurrimiento es fácilmente intuible cualitativamente mediante parámetros sencillos, susceptibles de servir de referencia, en la clasificación de cuencas y de facilitar los estudios de semejanza (López Cadenas de Llano, 1998). La morfometría de cada cuenca hidrográfica es proporcional con la posibilidad de cosecha hídrica, ante eventos climáticos, y con la generación de una respuesta a los mismos, como ser la escorrentía superficial, expresada en términos de caudales, la incidencia en el transporte de sedimentos y nutrientes, a lo largo de los ecosistemas que la integran.

Componentes morfométricos. Delimitación y obtención de parámetros de cuenca

El análisis de las características morfométricas y funcionales de una cuenca hidrográfica a través de parámetros de forma, relieve y red de drenaje, es básico en la modelación hidrológica para determinar el movimiento y captación del agua de lluvia (Gaspari et al., 2009).

La definición de un límite de cuenca, desde el punto de vista hidrológico, se considera analizando la topografía del terreno a partir de la divisoria de aguas topográfica, cuyos límites (LC) envuelven el territorio que ocupa el río principal y sus afluentes, hasta su desembocadura. Esta divisoria de agua engloba en un mismo territorio a las vertientes o laderas (desde las cabeceras de cuenca hasta las cercanías del curso de aguas), a la llanura aluvial (rodeando al río y su cauce en todo su recorrido) y al río propiamente dicho hasta su salida en contacto con otro río, lago, laguna o mar.

Estas se establecen a partir de parámetros morfométricos de forma, de relieve y los relativos a la red de drenaje, con apoyo en el Sistema de Información Geográfica (SIG) y planillas

de cálculo. Complementariamente, se realiza un análisis general topográfico para integrar el relieve con el trazado del sistema de drenaje, fundamental en el análisis de la hidrografía, en especial, en el estudio de las aguas superficiales. Para obtener los índices morfométricos se deben realizar mediciones geométricas de las cuencas cuyo material de base son los mapas de altitud que pueden ser las cartas topográficas, recomendando un proyectados en el sistema de coordenadas planas, como las generadas por el Instituto Geográfico Nacional (IGN), o mediante la interpretación derivada del modelo digital de elevación (MDE sigla en español = DEM sigla en inglés).

La información acerca de la elevación del terreno se puede obtener de datos digitales procedentes del proyecto Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) (2000) a través de National Aeronautics and Space Administration (NASA), de la página web del Servicio Geológico de Estados Unidos (<http://srtm.usgs.gov/index.php>), las cuales poseen una resolución espacial de 90 metros, radiométrica de 16 bit y formato geotiff (Farr et al., 2007). El SRTM permitió la construcción de un modelo digital de elevación (MDE).

La morfología de una cuenca queda definida por parámetros de forma, de relieve, y relativos a la red hidrográfica, que influyen sobre la dinámica hídrica superficial. A continuación, se describe su metodología según Aumassane et al (2018):

Parámetros de forma

- Perímetro (P) que es la medición de la línea envolvente de la cuenca hidrográfica, por la divisoria de aguas, expresado en km.
- Área (A), definida como la superficie encerrada por la divisoria de aguas, en km².
- Longitud axial (La) que es la distancia existente entre la desembocadura y el punto más lejano de la cuenca (km).
- Ancho promedio (Ap), determinado por el cociente entre la superficie de la cuenca con su longitud axial expresado, en km.
- Coeficiente de compacidad de Gravelius (Kc), que relaciona el perímetro de la cuenca con el perímetro de un círculo teórico de área equivalente a la cuenca (adimensional).

$$Kc = \frac{P}{2 \cdot \sqrt{(\pi \cdot A)}}$$

- Factor de forma (IF) a partir del cociente entre ancho promedio y la longitud axial e indica cómo se regula la concentración del escurrimiento superficial y manifiesta la tendencia de la cuenca hacia las crecidas (adimensional).

Parámetros de relieve

- Altura Máxima (Hmáx) y altura mínima (Hmin), estos datos permites cuantificar los extremos de cotas de la cuenca (m).

- Altura media (AM), se utiliza para cuantificar el efecto del relieve, y expresa la altura definida por el volumen de la cuenca en relación a la superficie de la misma (m).
- Pendiente media (PM) mediante la ecuación de $[PM = (H_{max} - H_{min}) / L_a]$ siendo H_{max} la altura máxima y H_{min} la altura mínima para cada una de las subcuencas bajo estudio. El análisis de relieve se completa con la determinación de clases según la altura (cota sobre el nivel del mar = msnm)
- Orientación del terreno. Según Llamas (1993) la orientación de laderas hace referencia a la dirección geográfica con respecto al norte geográfico, considerando la pendiente general de las laderas de la cuenca.

Parámetros de drenaje

- Número de orden de los cursos se determina mediante el método Strahler (1964), el cual asigna el orden 1 a un curso que carece de tributarios, orden 2 es formado por la confluencia de dos cursos de orden 1 y orden 3 es formado por la confluencia de dos de orden 2. El orden de una cuenca de drenaje está dado por el curso de orden mayor. El número de orden de los cursos de agua o jerarquización, está estrechamente relacionado con el número de ramificaciones de la red de drenaje.
- Longitud de drenaje (L_n) es un parámetro que expresa la suma total de la longitud de la red de drenaje completa, desde sus tributarios más pequeños hasta el curso principal (km).
- Longitud del curso principal (L) en km. Este parámetro es la longitud del curso principal.
- Densidad de drenaje (D_d) expresada en km / km^2 , se define como la relación entre la suma de las longitudes de todos los cursos de agua (L_n) que drenan en la cuenca con respecto al área de la misma $[D_d = L_n / A]$.
- Desnivel de cauce (DH) es la altura que posee desde su nacimiento y hasta su desembocadura al interior de la cuenca, expresado en metros.
- Pendiente media del cauce (J), como el cociente entre $[DH / L]$, que relaciona el desnivel con la longitud de su cauce principal.
- Tiempo de concentración (T_c) que expresa el tiempo (horas) que tarda una gota de lluvia en moverse desde la parte más lejana de la cuenca hasta la salida. Existen fórmulas para estimar el tiempo de concentración de la cuenca (T_c), por ejemplo, la fórmula definida por Dirección General de Carreteras de España, establecida a partir de la longitud del cauce principal y su pendiente media, según la siguiente ecuación:

$$T_c = 0,3 \times (L / J^{0,25})^{0,76}$$

Análisis morfométrico con SIG

Delimitación de cuencas hidrográficas a partir del DEM

Esta actividad se realiza con el programa QGIS3x y con apoyo en el módulo GRASS (*Geographic Resources Analysis Support System*). Este módulo es una herramienta SIG tradicional bajo licencia *GNU General Public License* (GPL), cuyos módulos y programación de geoprocetamiento son utilizados de manera específica al interior de QGIS, como por ejemplo algoritmos, en el módulo ráster, para la generación de cuencas hidrográficas por medio de un Modelo Digital de Elevación (*Digital Elevation Model DEM*). La combinación de GRASS con QGIS permite el tratamiento digital de imágenes, así como análisis y edición de datos vectoriales.

El plugin de GRASS en QGIS proporciona acceso a las bases de datos y funcionalidades SIG de GRASS. Para activar dicho módulo, inicialmente se debe ejecutar el programa QGIS con el complemento GRASS 7, como se muestra en la Figura 30. El módulo GRASS en QGIS se utilizará para la delimitación de las cuencas, el cual no está disponible en la versión estándar del QGIS.



Figura 30.

Antes de empezar a trabajar, se recomienda crear y/o guardar un proyecto nuevo. Posteriormente, habilitar el módulo de GRASS. Para esto se debe ir a la barra de herramientas Complementos / Administrar e instalar complementos; allí en la sección de búsqueda “GRASS” y al aparecer en el cuadro inferior chequear la casilla del complemento e instalarlo o actualizarlo con los botones ubicados en la parte inferior del cuadro derecho de la ventana (Figura 31).

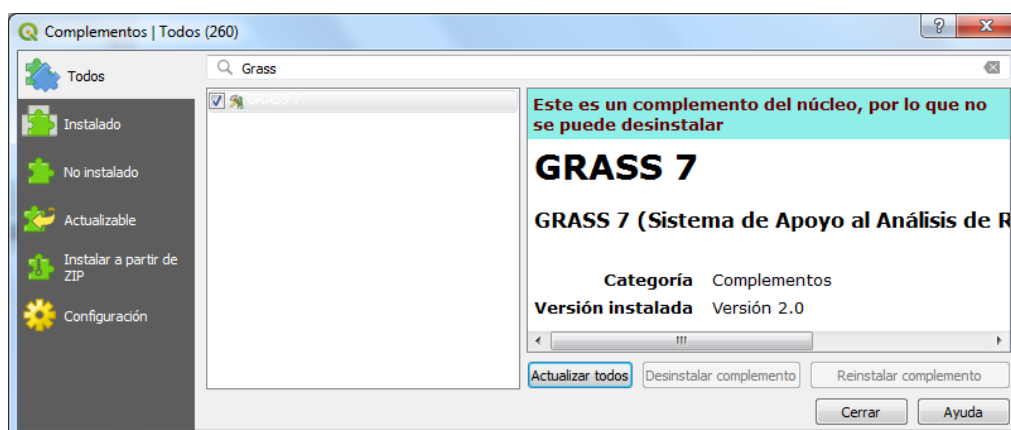


Figura 31.

Lo anterior, habilita el panel de herramienta de GRASS en la parte derecha del proyecto de trabajo. No obstante, este se encontrará deshabilitado ya que se debe generar una carpeta de trabajo específica o directorio de mapas para este módulo. Para ello se debe ir a la barra de herramientas Complementos / GRASS / Nuevo directorio de mapas (Figura 32).

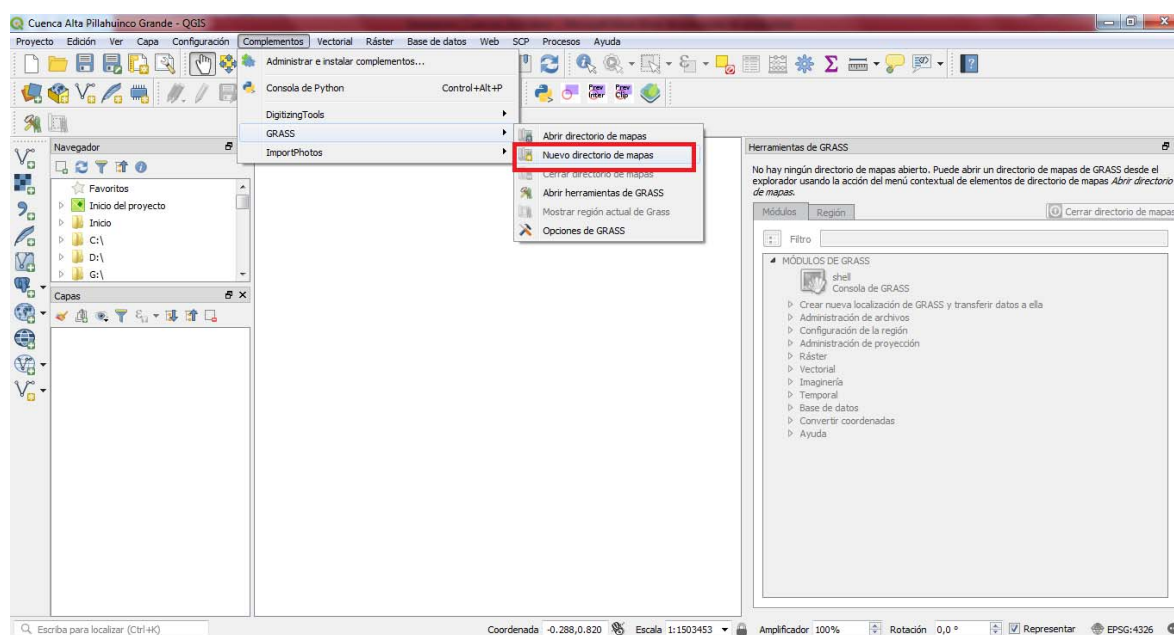


Figura 32.

Se abrirá una serie de ventanas las cuales guiarán en el proceso de creado del directorio. Primero se debe escoger la carpeta la cual contendrá la nueva base de datos que se generará y será utilizada por GRASS (Figura 33).

Nota: seleccionar una carpeta con ruta de localización corta y nombres sin espacios ni caracteres especiales.

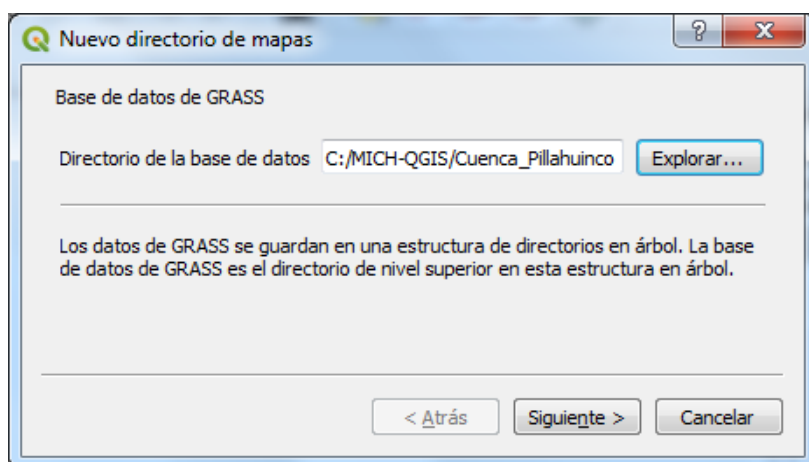


Figura 33.

Siguiente se pide la localización de los archivos creados por GRASS. Es posible seleccionar una carpeta que esté creada previamente o generar una nueva localización (Figura 34).

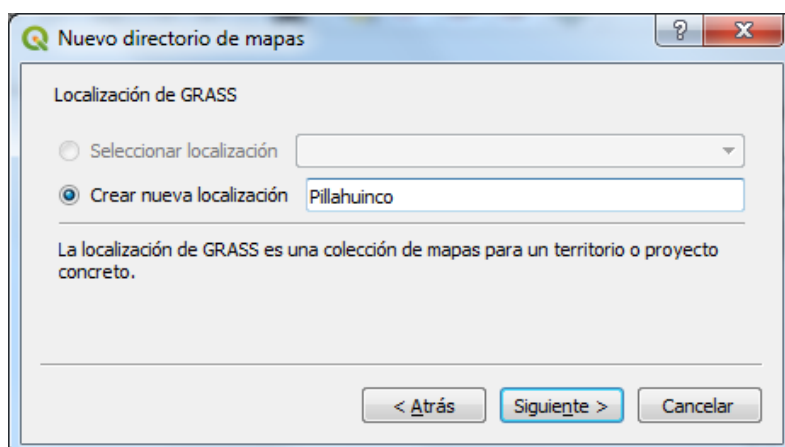


Figura 34.

A continuación, se debe seleccionar el sistema de coordenadas que llevara el proyecto. Para el ejemplo, se utiliza el sistema de coordenadas planas Gauss-Krüger Posgar 2007 Faja 5 (POSGAR 2007 / Argentina 5; EPSG: 5347), el cual se localiza buscando el nombre en la casilla Filtrar y posteriormente se selecciona en el cuadro de Sistema de referencia de coordenadas del mundo; una vez marcada aparece en la casilla SRC seccionado (Figura 35).

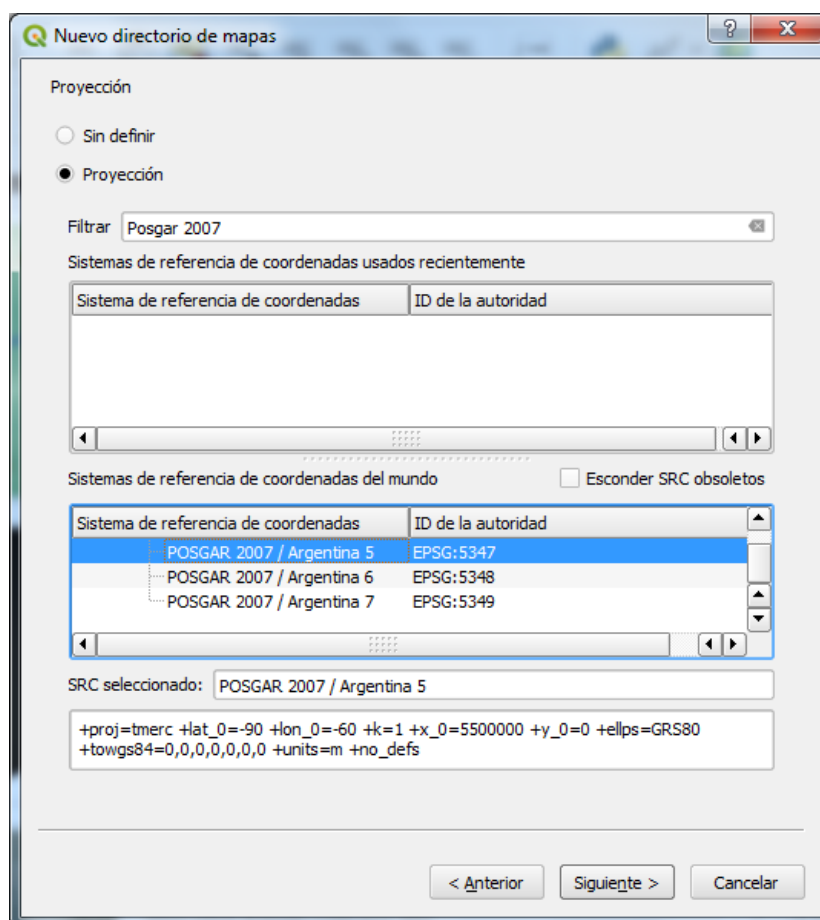


Figura 35.

Posteriormente, se solicita seleccionar la región predeterminada en la cual trabajara GRASS, esto con fines de simplificar los procesos en el espacio de trabajo del proyecto. Es posible marcar una pequeña zona definiendo las dimensiones de la misma en la superficie terrestre por medio de sus coordenadas cardinales. También si en el proyecto ya se encuentra demarcada una zona de estudio, por medio de la extensión de una capa geográfica previamente cargada en el lienzo, se puede asignar dichas dimensiones oprimiendo el botón **Establecer la extensión actual** de QGIS; o seleccionar una zona estándar de un país escogiendo el mismo en la lista desplegable y oprimiendo el botón Establecer (Figura 36).

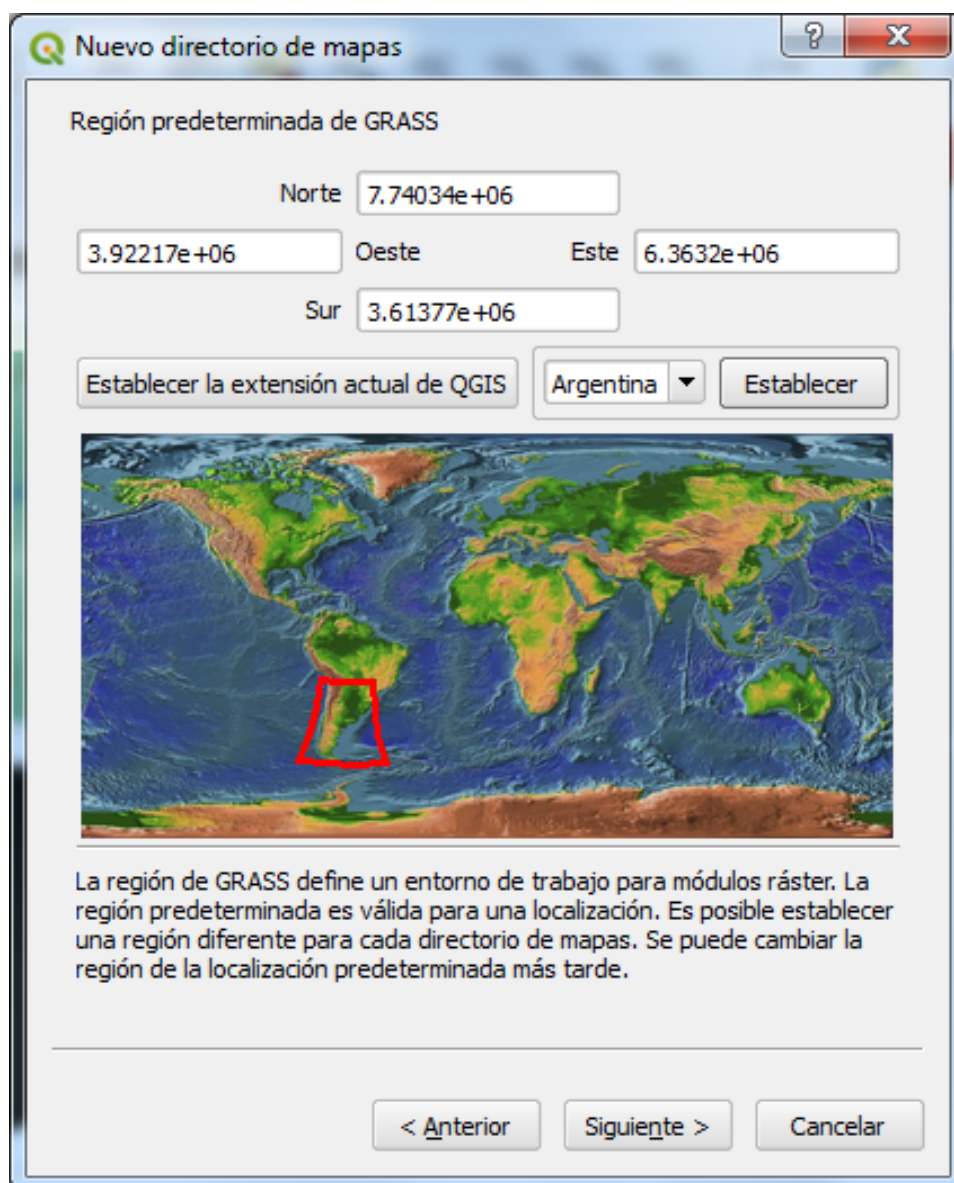


Figura 36.

Posteriormente, se debe designar una localización en donde se guardan los resultados de los procesos intermedios y finales de los algoritmos de GRASS, seleccionar un nombre de carpeta/ directorio a criterio. Para el ejercicio se denominará Resultados (Figura 37).

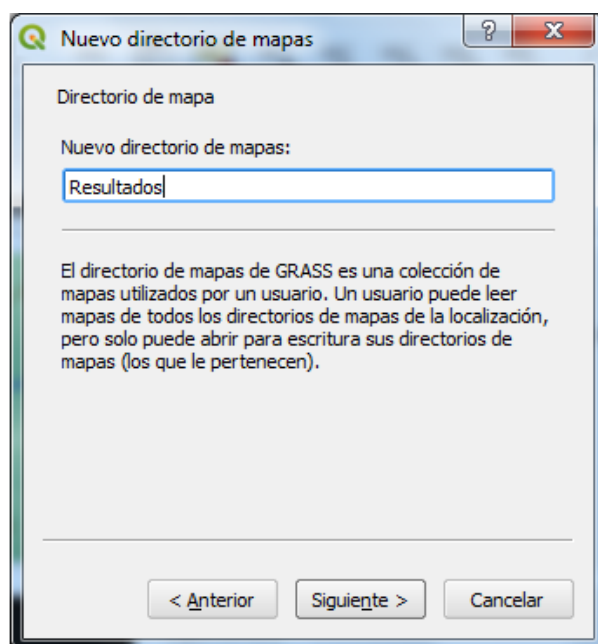


Figura 37.

Por último, se muestra el resumen de los directorios generados, al igual que está marcada por defecto la opción de abrir el nuevo directorio de mapas, ya que al darle Terminar se abre automáticamente dichos directorios, habilitando de esta forma el panel de herramientas de GRASS (Figura 38).

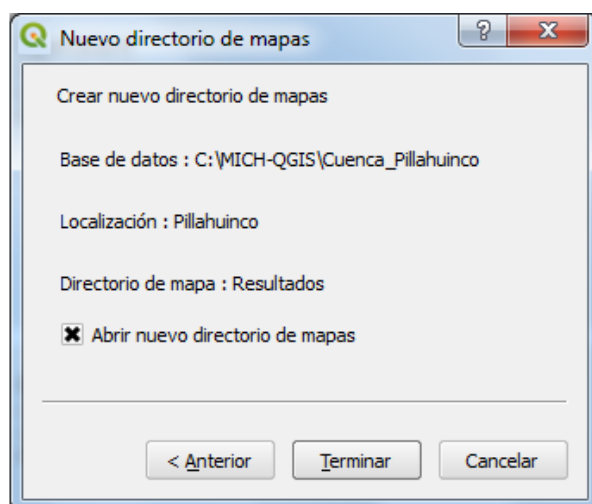



Figura 38.

Una vez habilitado los directorios para trabajar con el complemento GRASS se debe importar el DEM de la zona de estudio con el cual se va a generar la cuenca hidrográfica. Para esto hay que cargarlo desde la sección de **Anadir capa ráster**  desde la barra de Administrador de fuentes de datos.

Nota: tener en cuenta el sistema de coordenadas asociado al DEM en el ejemplo en estudio, debido a que si éste posee coordenadas geográficas WGS84 habría que proyectarlo a coordenadas planas Posgar (Coordenadas Posgar 2007 / Argentina 5). En el caso afirmativo este se puede realizar desde la barra de herramientas Ráster / Proyecciones / Combar (Reproyectar).

El siguiente paso es establecer la extensión de la región de estudio, la cual debe contener en su totalidad al DEM. Para esto hay que dirigirse al Panel de herramientas de GRASS en la pestaña **Región**, allí es posible delimitar la extensión por sus dimensiones cardinales o delimitando en pantalla el área. Para lo último se debe oprimir el botón **“Seleccione la extensión arrastrando en el lienzo”**, habilitando así el puntero en forma de cruz con el cual se debe dibujar un cuadrado en el visor de mapas que cubra todo el DEM. Una vez marcada el área se oprime el botón **Aplicar**, que se encuentra ubicado en la parte inferior derecha de dicha pestaña de Región. Realizado lo anterior el área quedara seleccionada con un cuadro de color rojo y sus respectivas coordenadas cardinales aparecerán en Extensión (Figura 39).

Nota: es posible reasignar el área de la región utilizando el botón Reiniciar, localizado a nivel en la parte derecha de botón Aplicar.

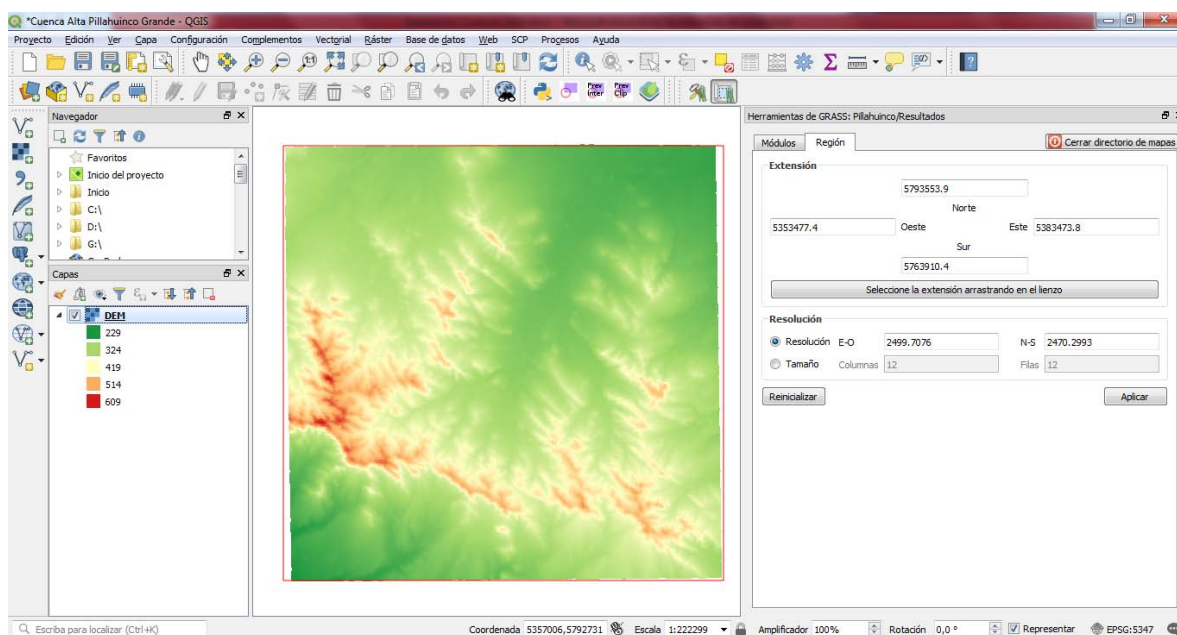


Figura 39.

A continuación, se procede a importar el DEM en el módulo de GRASS para su respectiva utilización en los algoritmos. Esto se realiza por medio de la pestaña **Módulos**, donde se localiza el comando **“r.in.gdal.qgis”** ya sea en el árbol de contenido o buscándolo en la casilla **Filtro** localizada en la parte superior del panel (Figura 40).

Nota: es posible importar el DEM desde una fuente de datos externa con otro comando, pero para el ejercicio se implementará el mencionado anteriormente.

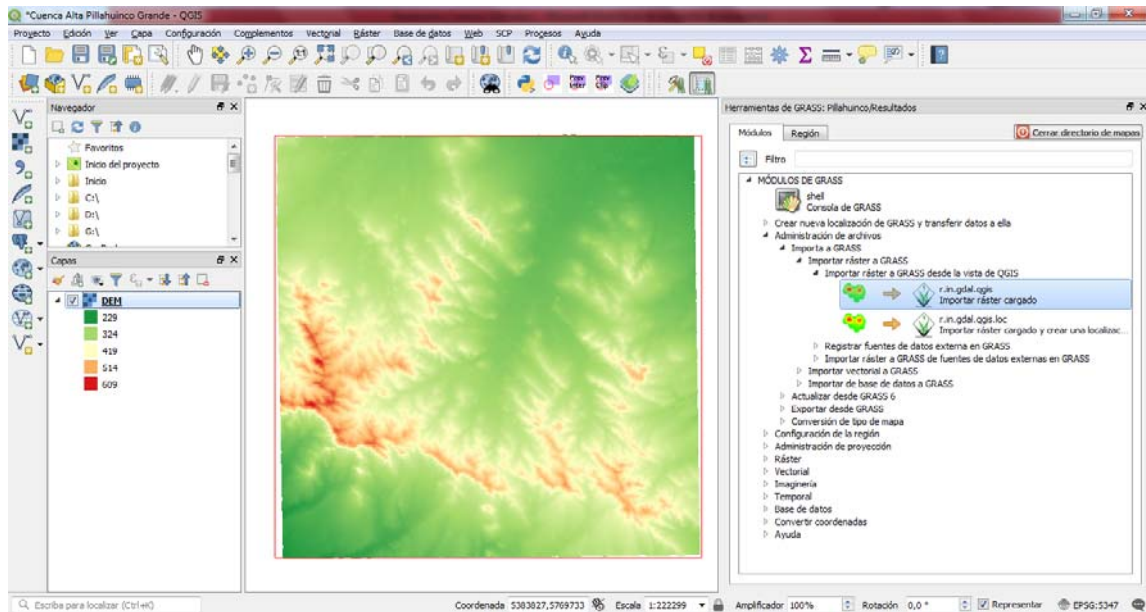


Figura 40.

El anterior comando abre la pestaña en el mismo panel de herramientas de GRASS, donde se solicita la capa cargada DEM (Se carga por defecto si solo hay un ráster respectivo cargado, de lo contrario habría que seleccionarlo en la lista desplegable) y se nombra el ráster o DEM que será importado en el módulo GRASS. Por convención para no perder de referencia los archivos generados por este módulo, los productos resultantes de cada comando llevarán como sufijo en sus nombres la palabra “_grass”, por ejemplo, para este caso el archivo llevará el nombre de DEM_grass (Figuras 41 y 42).

Para finalizar la importación, se oprime el botón **Ejecutar**, y cuando finalice correctamente en la pestaña de Salida oprimir el botón de **Ver salida**, para cargar la capa importada al navegador de capas de QGIS. Una vez finalizado oprimir **Cerrar**.

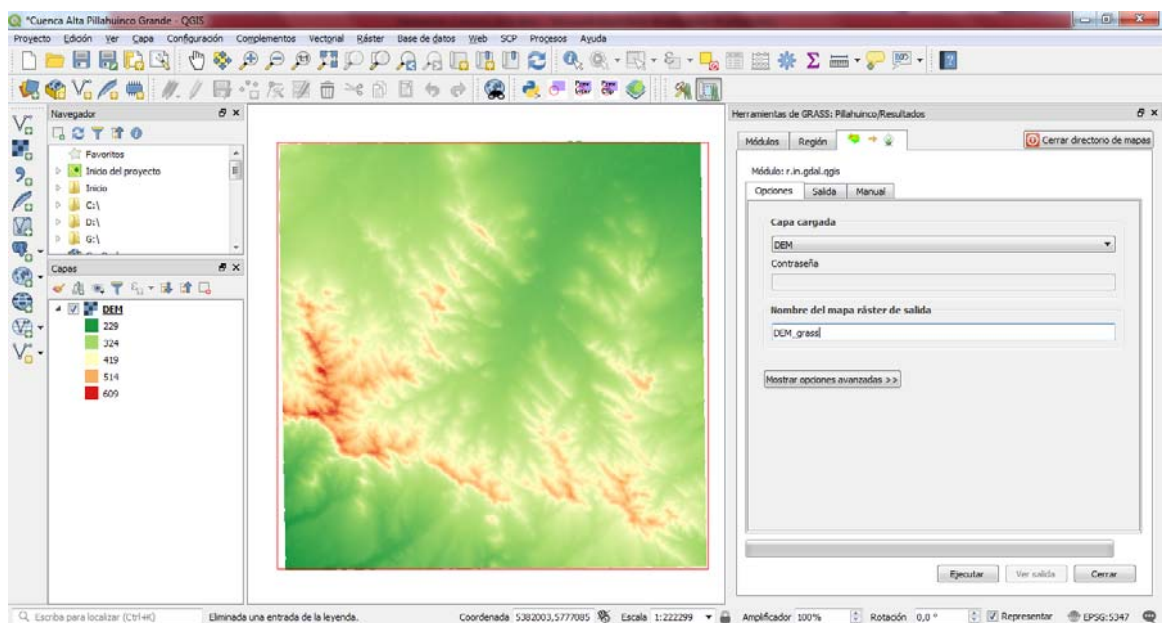


Figura 41.

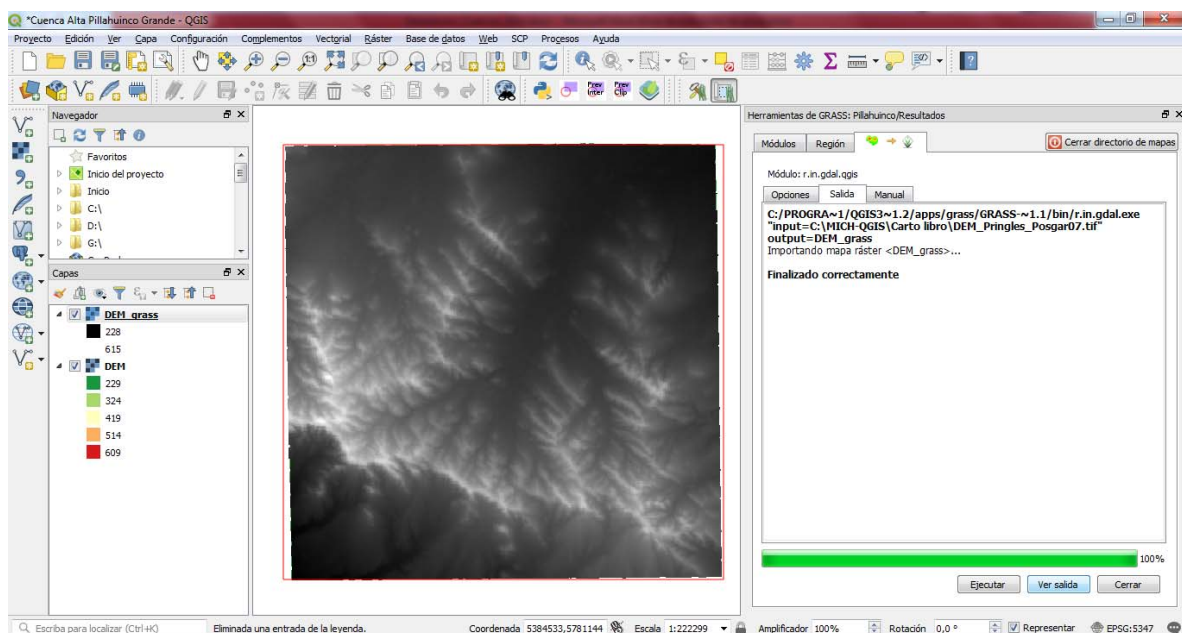


Figura 42.

En la mayoría de casos los DEM, sin procesamiento previo, pueden contener errores en su información o datos pertenecientes a sumideros o depresiones, por lo cual es necesario resolver esos detalles antes de iniciar el análisis para la delimitación de la cuenca. Para ello se utiliza el comando “**r.fill.dir**” en el módulo de Modelado hidrológico (Figura 43).

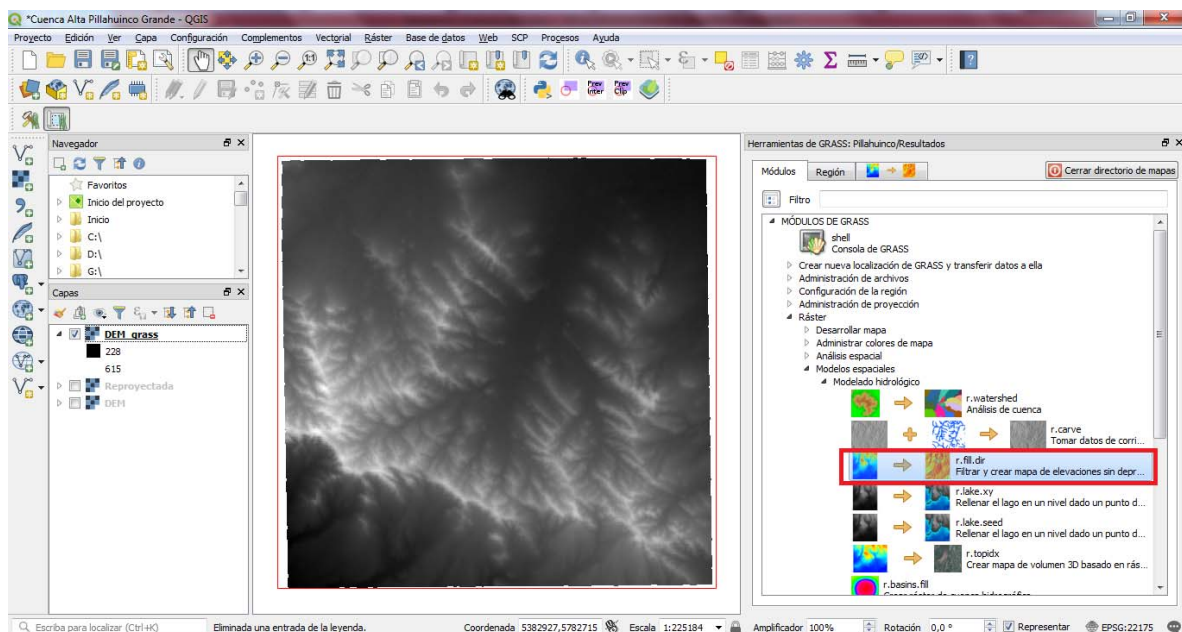



Figura 43.

En la pestaña del comando para la corrección anterior, se selecciona el DEM importado en GRASS.

Nota: seleccionar el botón  **en todos los procesos donde aparezca el icono**, ya que con él se toma la información contenida del área de estudio en el cuadrado rojo que se definió al comienzo del proceso GRASS.

Luego, se nombra el ráster de elevaciones sin depresiones que será creado, para este caso “DEM_fill_grass”; y el ráster de direcciones de flujo “DirFlujo_grass” el cual denota las direcciones en el mapa donde el flujo de escurrimiento fluye según las pendientes encontradas en la topografía (sin sumideros) (Figura 44).

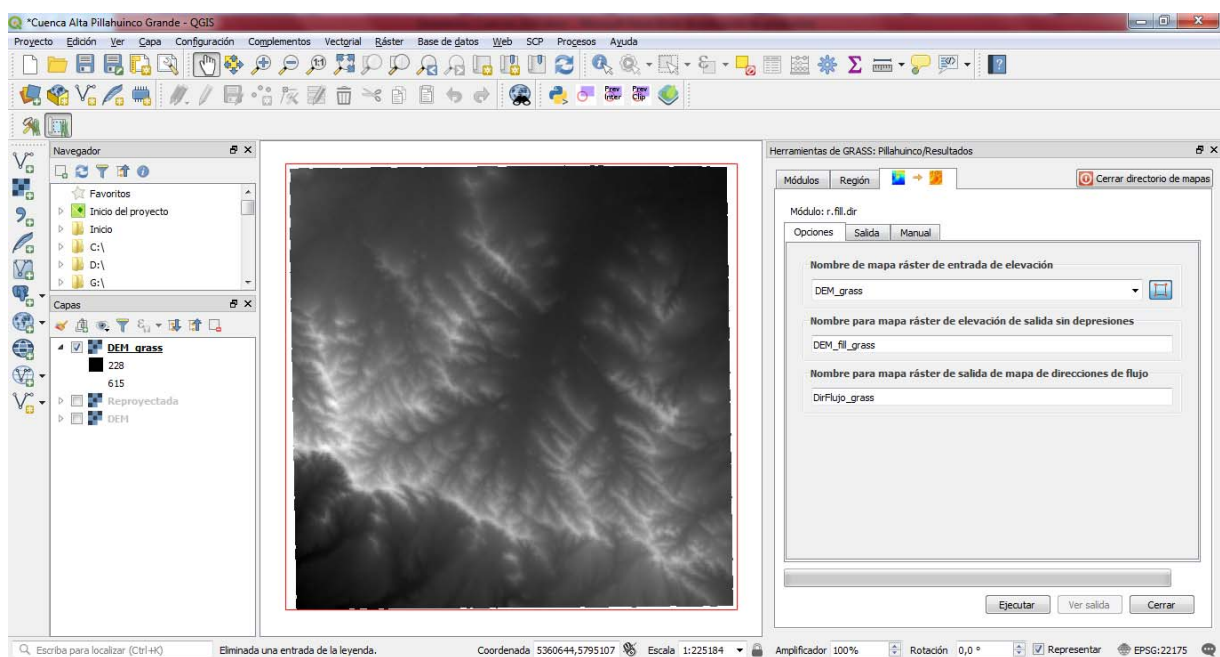


Figura 44.

Presionar **Ejecutar**, si el proceso es satisfactorio oprimir el botón **Ver salidas** para cargar los ráster en el navegador de capas (Figura 45).

Nota: en el caso de no visualizarse algún ráster, cerciorarse de modificar la simbología del mismo.

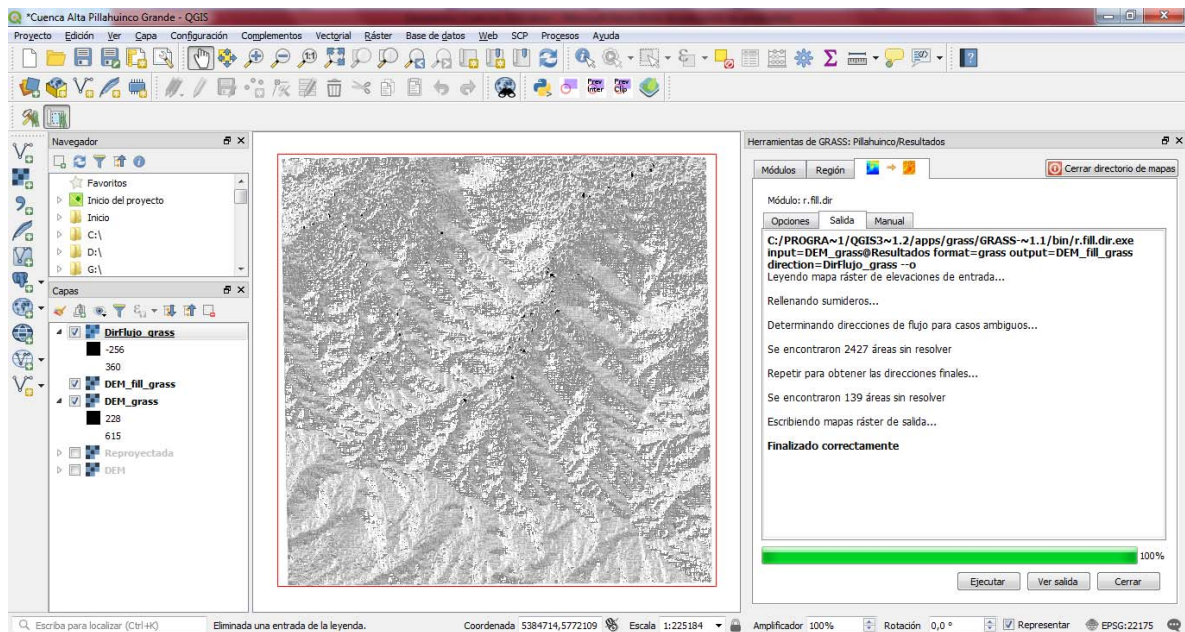


Figura 45.

Una vez que el DEM este corregido, se procede a delimitar las cuencas o áreas de captación según la topografía contenida en la información del DEM. Esto se realiza por medio del módulo de análisis de cuencas “**r.watershed**” localizado en la pestaña Módulos (Figura 46).

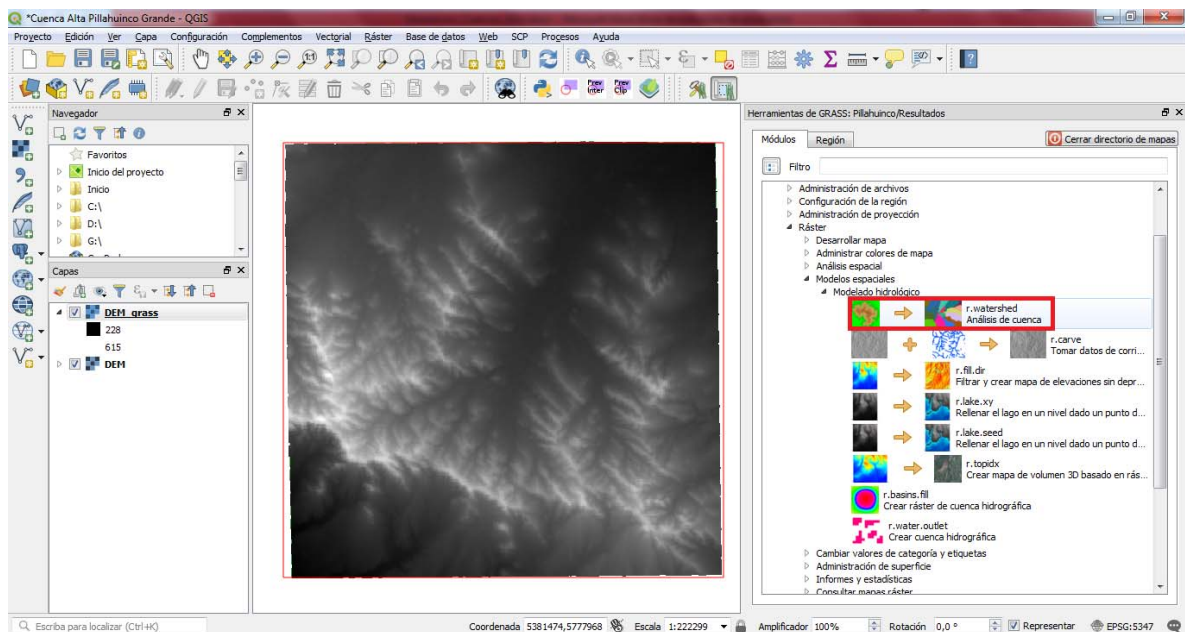



Figura 46.

En la pestaña que se habilita se deben completar todas las casillas, como se menciona a continuación (Figura 47):

1) Seleccionar la capa ráster “DEM_fill_grass”; importada en el paso anterior (recordar pulsar el icono  para la selección del área de interés);

2) Definir el tamaño mínimo de cada cuenca (número de celdas), el cuál será el tamaño mínimo de área de captación generada por el módulo. Para este ejercicio se define como 20000. *Nota: hay que tener en cuenta que cada pixel posee un área dependiendo de la resolución espacial de cada DEM. En este caso el pixel posee un área de 30 x 30 metros lo cual corresponde a 900 m², es decir que el área mínima de cada cuenca será 900 x 20000 = 18000000 m² = 1800 ha = 18 km².*

3) Nombre de la acumulación de flujo: es posible asignarle cualquier nombre a discreción, para el ejercicio se llamará Acumulacion_grass;

4) Nombre de dirección de drenaje: DirDrenaje_grass;

5) Nombre para mapa ráster de salida de segmentos: Drenaje_grass;

6) Nombre para mapa ráster de salida de cuencas: Subcuenca_grass

Nota: se menciona subcuenca porque el resultado mostrara áreas de captación, las cuales, según sea el nivel del estudio, podrán ser compiladas en una sola cuenca general.

Para finalizar oprimir **Ejecutar** (Figura 47), y si el proceso es terminado correctamente oprimir **Ver salidas** (Figura 48).

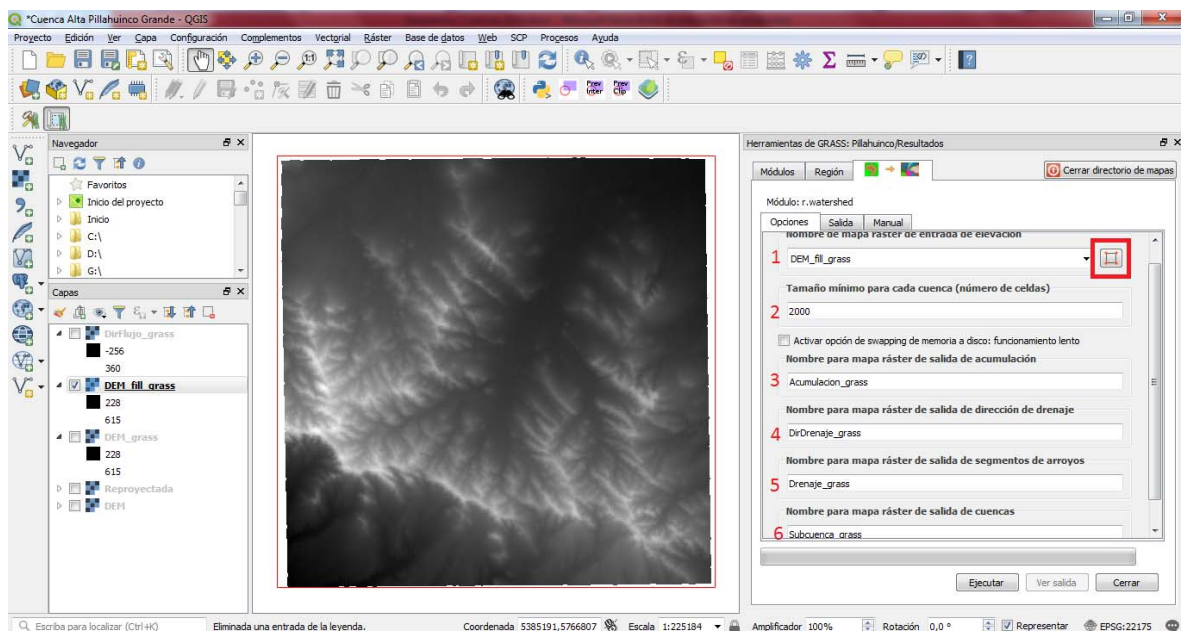


Figura 47.

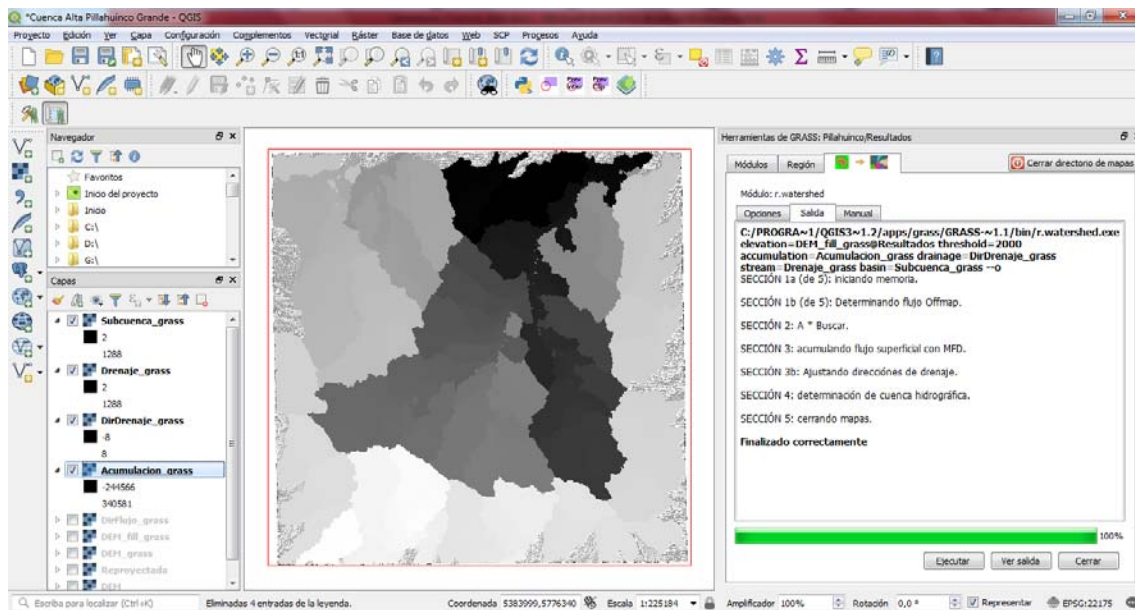


Figura 48.

Hasta el momento, se ha manejado la información en formato ráster. Posteriormente, se convierte la información de subcuencas y de drenajes a formato vectorial, con el fin de identificar con mayor claridad la cuenca de estudio que se desea estudiar. El comando de transformación de ráster a vectorial para líneas (drenajes) se denomina “**r.to.vect.line**” a partir del archivo Drenaje_grass y para polígono a partir del Subcuenca_grass (subcuenca) con el comando “**r.to.vect.area**” (Figura 49).

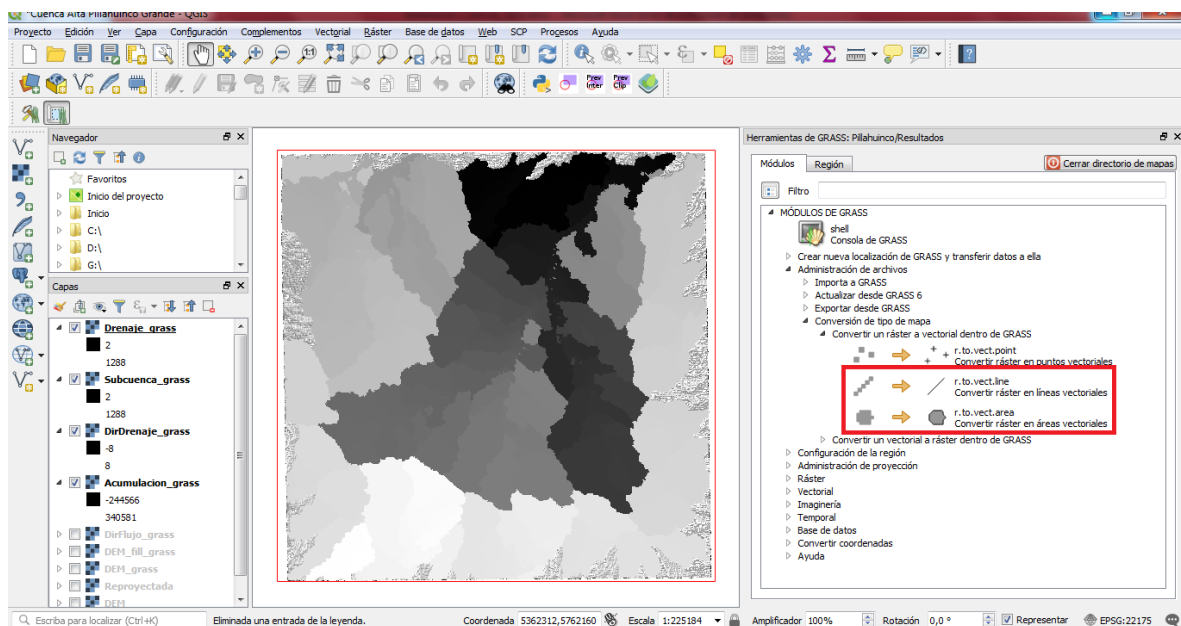


Figura 49.

Al ejecutar los anteriores comandos se despliega sus respectivas pestañas donde se pide de entrada las capas ráster correspondientes a cada geometría (drenajes a líneas y subcuencas a polígonos) y se les asigna un nombre de salida, para el caso se les agrega el sufijo de “vect”.

Al terminar satisfactoriamente los procesos y al cargarlos al navegador de capas, es posible cambiar su simbología para apreciar mejor sus formas y estructura espacial (Figura 50).

Nota: en el caso que la transformación de línea presente inconvenientes debido a celdas apiñadas, aplicar el comando “r.thin” y con su respectivo resultado depurado ejecutar nuevamente la transformación a líneas vectoriales.

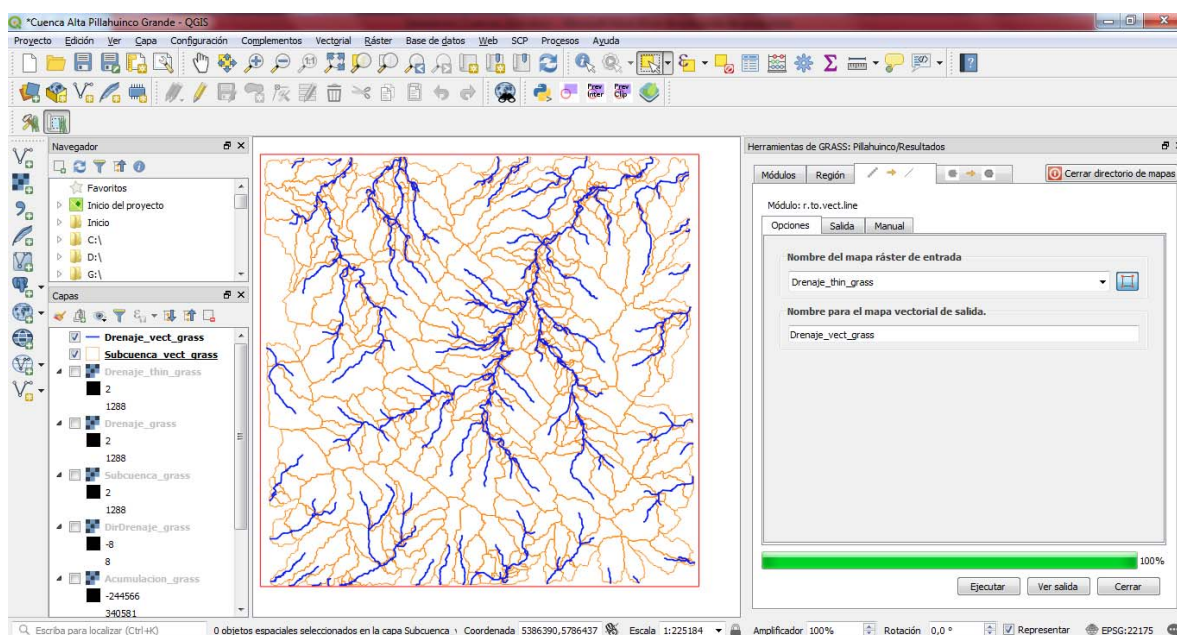


Figura 50.

Para la construcción de la cuenca final se deben identificar los drenajes que la componen, al igual que sus respectivas subcuencas. Con el fin de manipular la información se deben exportar las capas vectoriales anteriormente generadas en GRASS a formato shapefile (*.shp) con el comando “v.out.ogr” en el panel de herramientas de GRASS. Se despliega una ventana donde se debe ingresar la capa vectorial a exportar y su ruta de salida junto con su nombre, especificando el formato o extensión del archivo resultante, llamándolos drenajes y subcuencas totales, respectivamente (Figura 51).

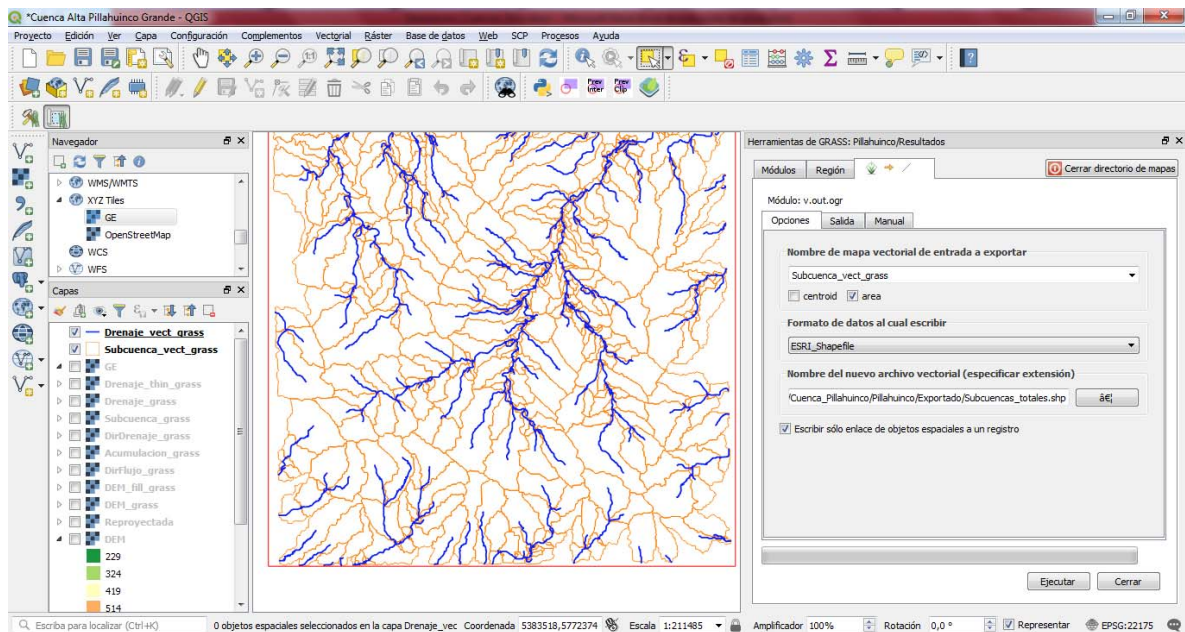


Figura 51.

Una vez finalizado el proceso, cargar la capa resultante mediante el administrador de capas vectoriales de QGIS y modificar su simbología para visualización (Figura 52).

Nota: para el caso se creó la carpeta “Exportados” al interior de la carpeta de trabajo creada en el modula GRASS.

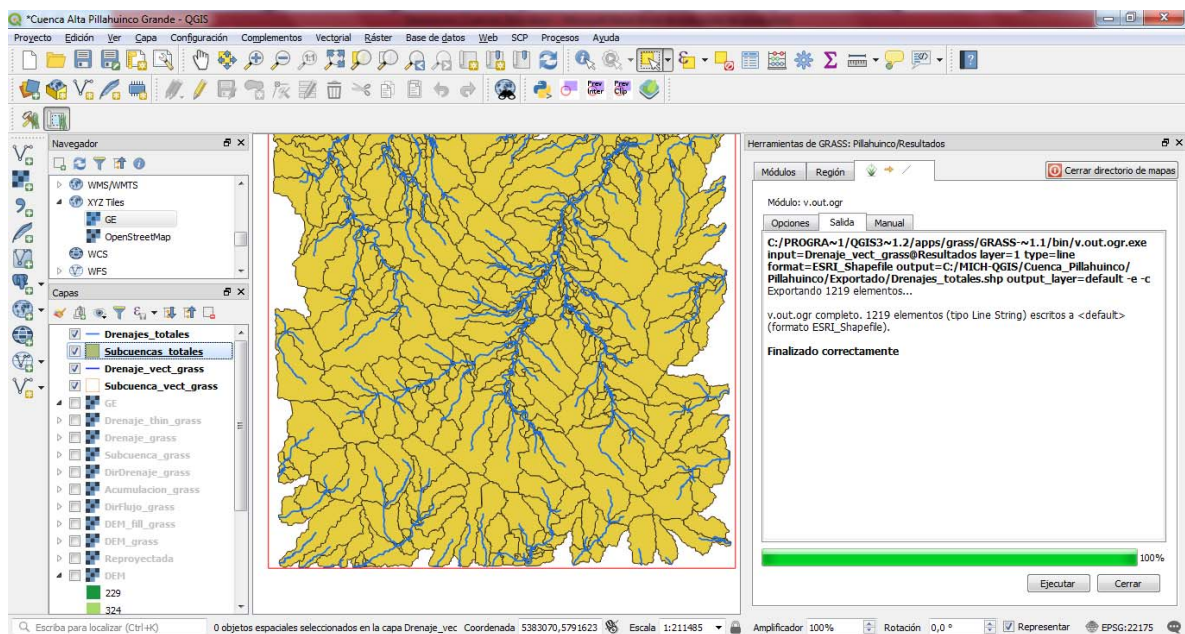



Figura 52.

Con las capas exportadas, se definirá la cuenca completa utilizando herramientas de selección manual y por localización pertenecientes al QGIS.

El primer paso es seleccionar los drenajes con la opción de Selección de objetos espaciales

 pertenecientes a la Barra de herramientas “Atributos”, en el modo de **Seleccionar por polígono** (Figura 53).

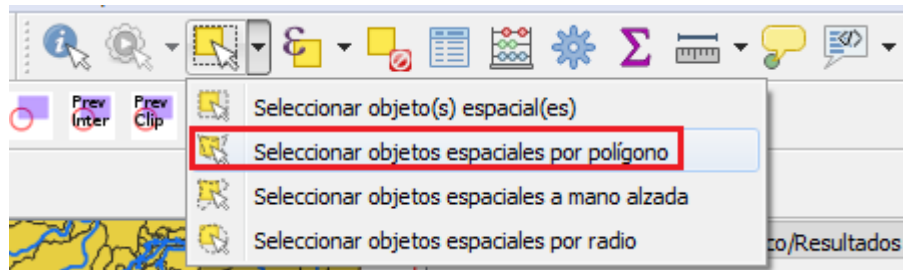


Figura 53.

Con el cursor se digitaliza un polígono que contenga los drenajes pertenecientes a la cuenca estudiada hasta donde se considere la desembocadura (para este ejemplo es la Cuenca Alta del Arroyo Pillahuinco Grande junto con sus tributarios) (Figura 54 y 55).

Nota: para finalizar dicha digitalización se oprime el botón derecho del ratón.

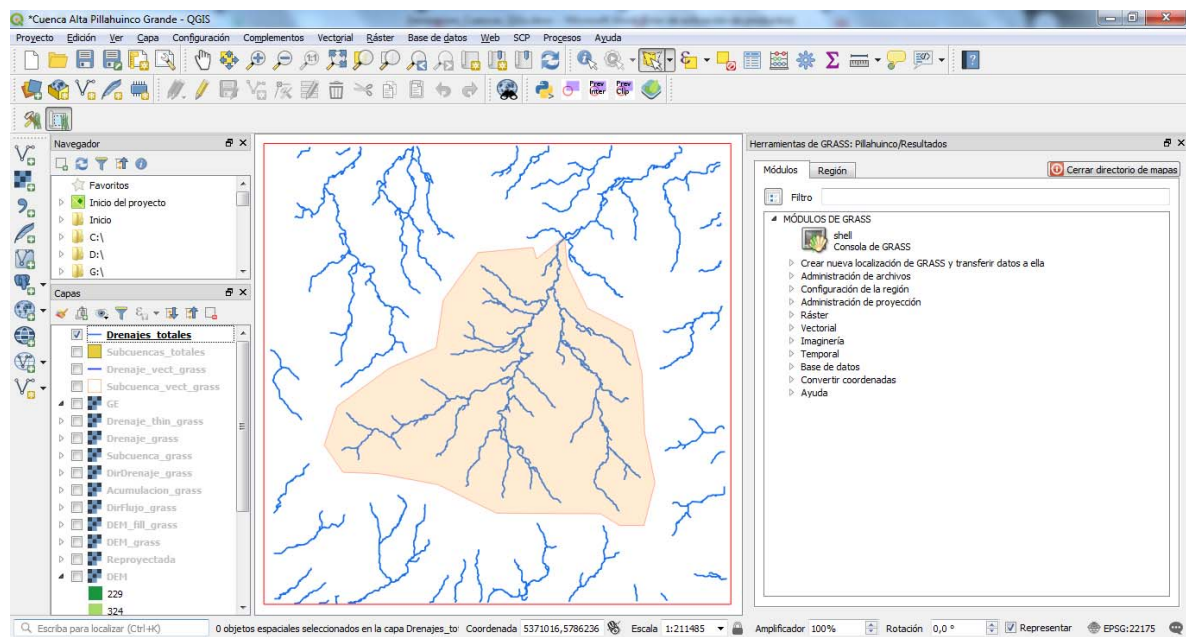


Figura 54.

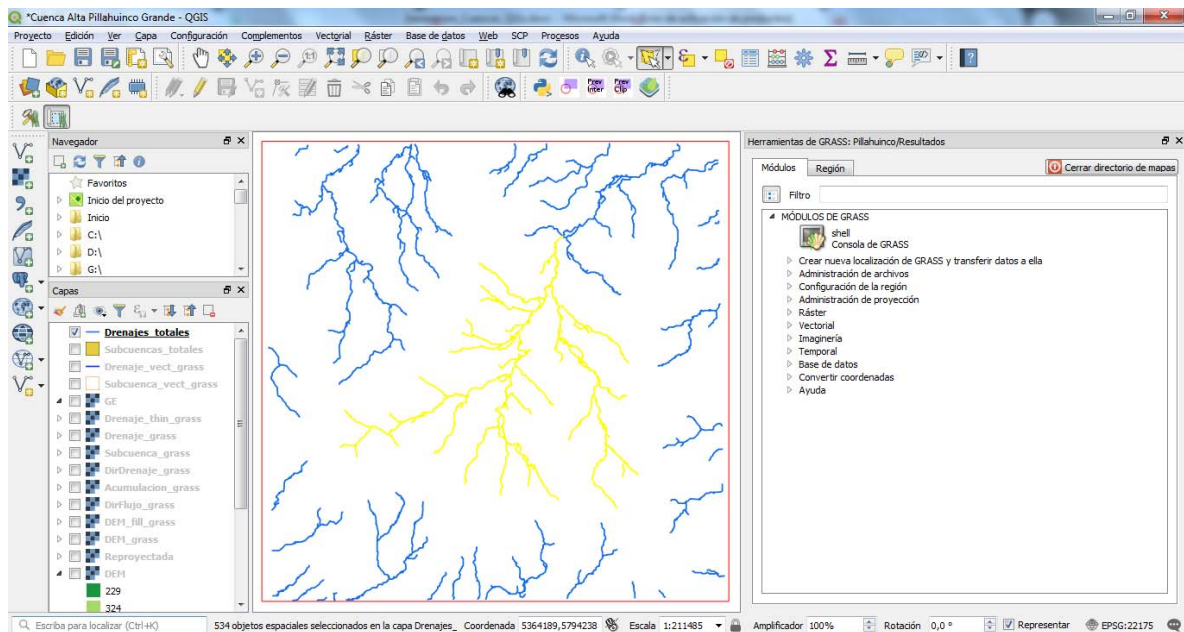


Figura 55.

Con la anterior selección, se realiza una selección por localización espacial de las subcuencas que se intercepten con dichos drenajes. Esto se lleva a cabo por medio de la barra de herramientas Vectorial / Herramientas de investigación / Seleccionar por localización. En la ventana emergente seleccionar la primera lista desplegable asignando la capa en la cual se seleccionarán los objetos. En este caso la capa Subcuencas_totales. Existen varios métodos de selección, para el ejemplo se utiliza la **Intersección** (chequear la casilla Intersecan). Posteriormente, se escoge la capa con la cual se realizará la intersección: Drenajes_totales. Por último, chequear la casilla “Objetos seleccionados solamente”, cuyo parámetro es necesario para seleccionar las subcuencas que se intercepten únicamente con la selección manual realizada previamente sobre los drenajes (Figura 56 y 57). Ejecutar el proceso (Figura 58).

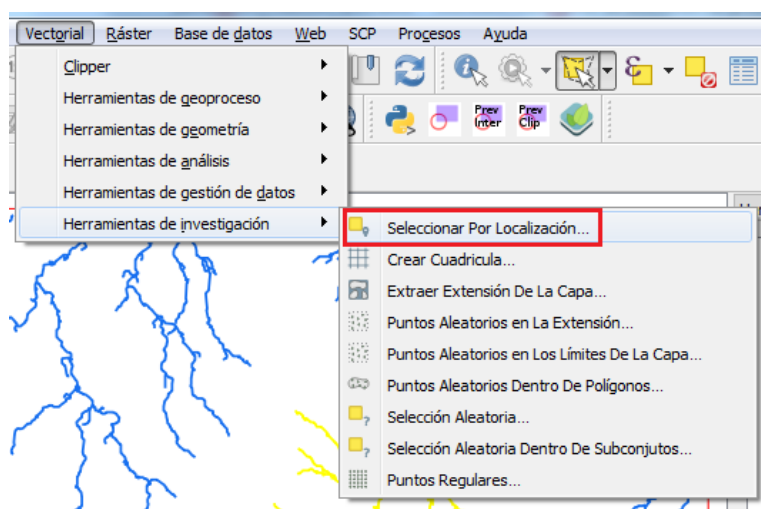


Figura 56.

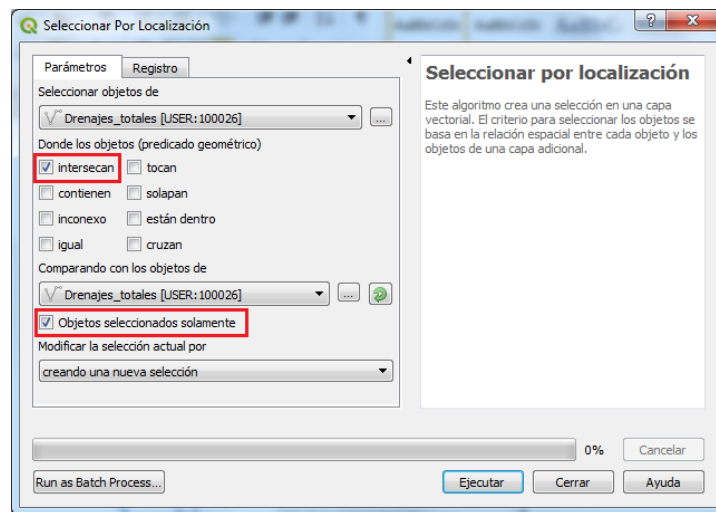


Figura 57.

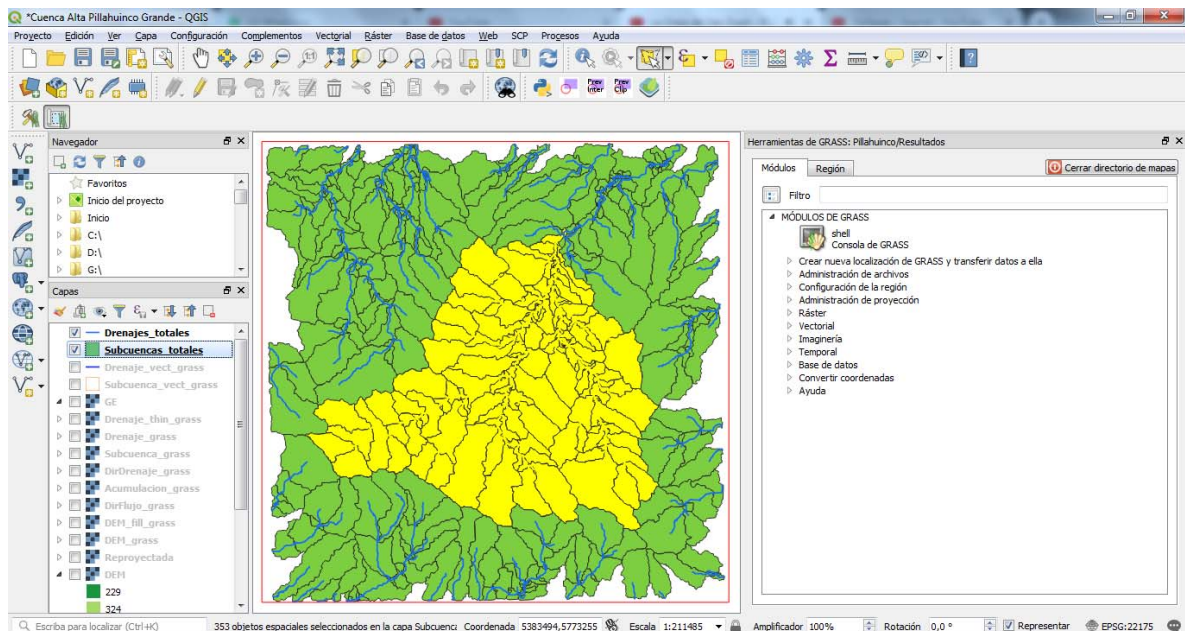


Figura 58.

La selección anterior arroja como resultado el área de captación de los drenajes escogidos. El siguiente paso es unificar dichas áreas en un único polígono de cuenca. Para ellos hay que exportar la selección de la capa Suebcuencas_totales dando click derecho sobre la capa **Exportar / Salvar como archivo**, guardar la capa con el nombre SubCuenca_Pillahuinco_seleccion en una localización a conveniencia, teniendo en cuenta chequear la casilla de “**Guardar solo objetos espaciales seleccionados**”, para el caso se creó una carpeta denominada Finales en el directorio de trabajo generado por GRASS (Figura 59 y 60).

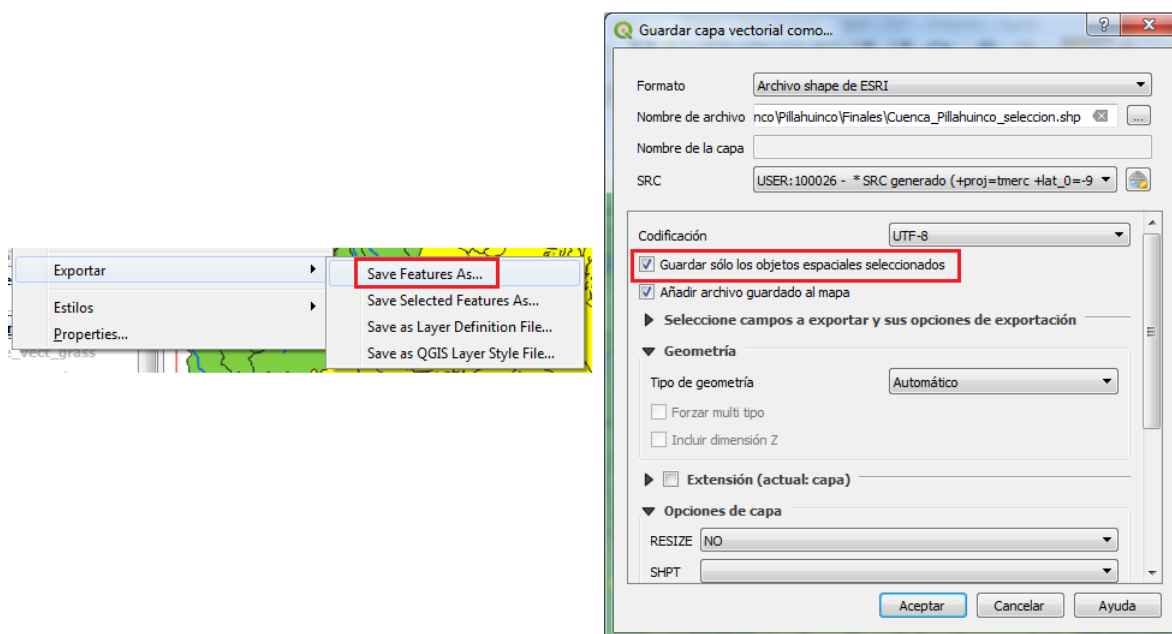


Figura 59.

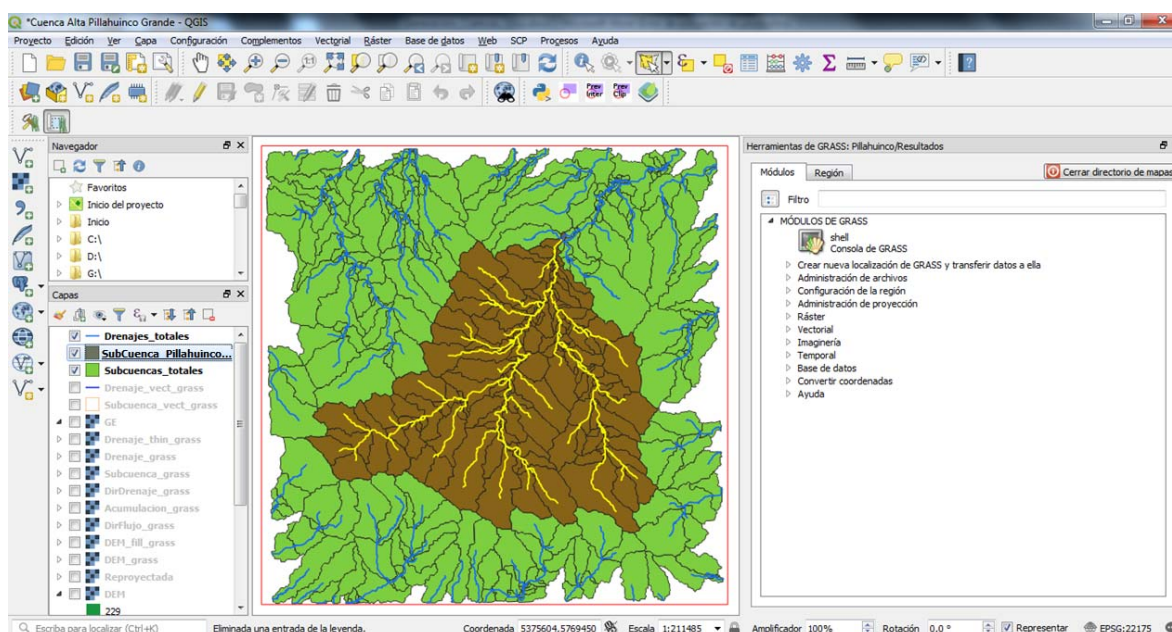


Figura 60.

Ya que se tienen seleccionados los drenajes correspondientes a la cuenca, realizar el mismo procedimiento de exportación y guardado mencionado previamente para las subcuencas. El archivo resultante se guarda en la carpeta Finales, con nombre Drenajes_Pillahuinco_seleccion.

Con la capa exportada de subcuencas se deben unificar todos los registros en uno solo para hacer la cuenca entera. Esto se ejecuta con la herramienta **Disolver**. Sin embargo, este proceso solicita que todos los registros o subcuencas tengan un atributo en común con la misma denominación o nombre. Para ello hay que abrir la tabla de atributos de la capa con click derecho sobre

la misma, y seleccionar **“Abrir tabla de atributos”**, lo cual despliega la tabla en donde se muestran todos los registros de la capa con sus respectivos campos o atributos (Figura 61).

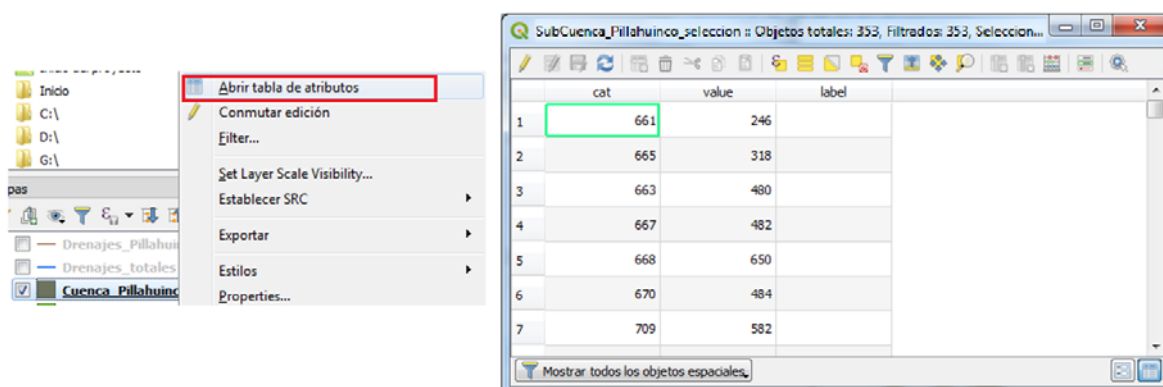




Figura 61.

Debido a que existe un campo vacío creado por los procesos anteriores, se utilizará el mismo para generar un valor igual para todos los registros y así generar el disolver. Para ellos se utiliza la **calculadora de campos**  localizada en la barra de herramientas de la tabla de atributos. En ella se presenta la opción de **Crear un campo nuevo o de actualizar campo existente** (Chequear la casilla correspondiente y escoger el nombre del campo en la lista desplegable, en este caso el campo será “Label”). En el cuadro de escritura localizado en la pestaña Expresión de la calculadora se debe escribir el código SQL (por sus siglas en inglés *Structured Query Language*; en español lenguaje de consulta estructurada) el cual servirá para el cálculo o generación de información de todos los registros (o solo seleccionados) de la tabla. Para el ejemplo solo se llenará con una cadena de texto sencilla, la cual se debe colocar entre comillas sencillas, asignado las siglas de la cuenca CPG (Cuenca Pillahuinco Grande) (Figura 62).

Nota: verificar el texto al inferior del cuadro, ya que muestra si la expresión para el cálculo está escrita correctamente antes de oprimir Aceptar.

Para finalizar hay que detener la edición de la capa (la cual se habilitó automáticamente al actualizar un campo existente con la calculadora de atributos), esto se hace oprimiendo el icono  y a continuación dar **Guardar cambios**.

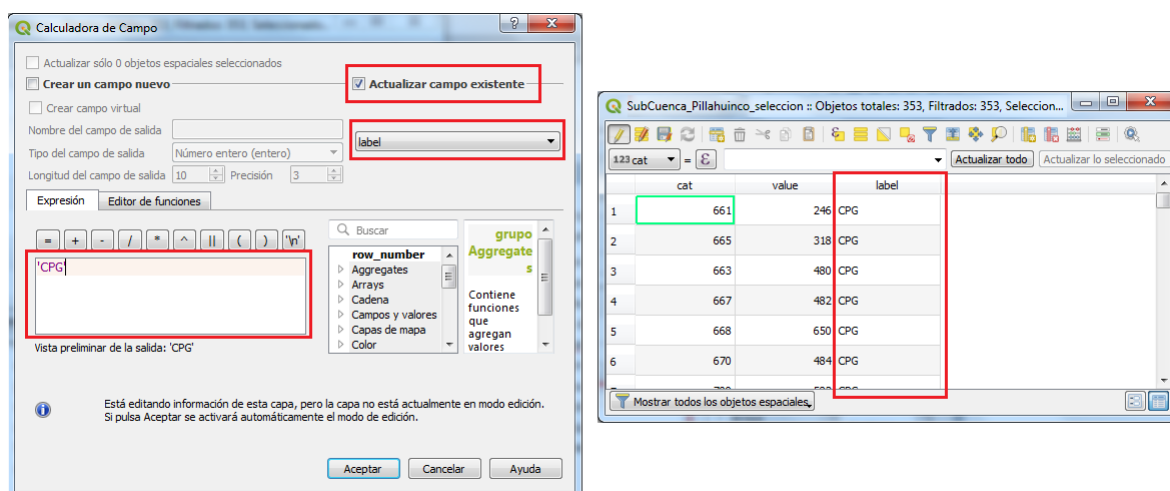


Figura 62.

Una vez se posea el campo en común para todos los registros, se continua el proceso de disolver. Este proceso se localiza en la barra de herramientas Vectorial / Herramientas de geoprocesos / Disolver. En la ventana emergente se selecciona la capa a disolver en la capa de entrada; en la parte de Campo ID Únicos se elige el atributo con el cual se unificarán los registros, en este caso el campo Label que se calculó anteriormente. Por último, guardar el archivo de salida, el cual contiene la cuenca definitiva de este proceso, este lleva el nombre Cuenca_Pillahuinco_seleccion y se localiza en la carpeta Finales; ejecutar y cerrar (Figura 63 y 64).

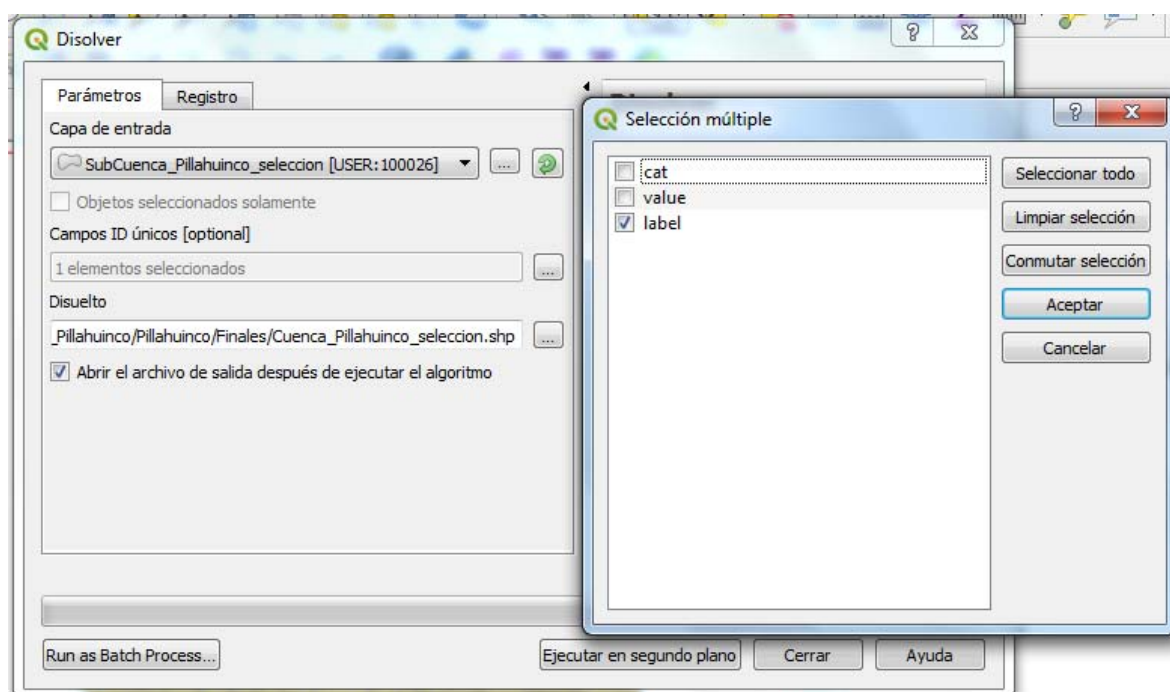


Figura 63.

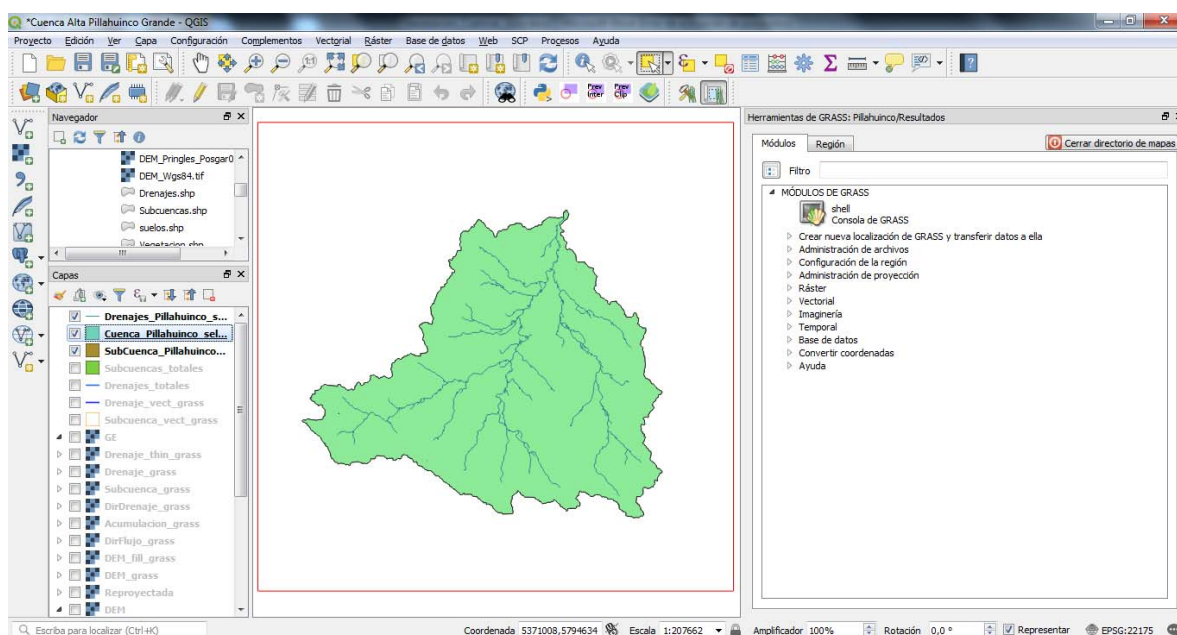





Figura 64.

Por el momento solo se tiene el registro o el polígono de la cuenca. Para finalizar este nivel o capa es pertinente adicionar atributos e información descriptiva al elemento geográfico. Para esto se abre la tabla de atributos y se adicionan campos a la tabla. Inicialmente se **activa la edición de la capa**, oprimiendo el icono  (**Conmutar el modo edición**).

A continuación, se adicionan campos con el icono **Campo nuevo**  (en el caso contrario, se puede eliminar campos con el icono **Borrar campo** ); para el ejemplo se crean los campos Nombre: Cuenca, Area_m2, Perímetro; Comentario (opcional); al generar cada campo se define los parámetros que estos llevarán, escogiendo así el tipo de atributo (tipo de proveedor) y longitud del mismo (Figura 65).

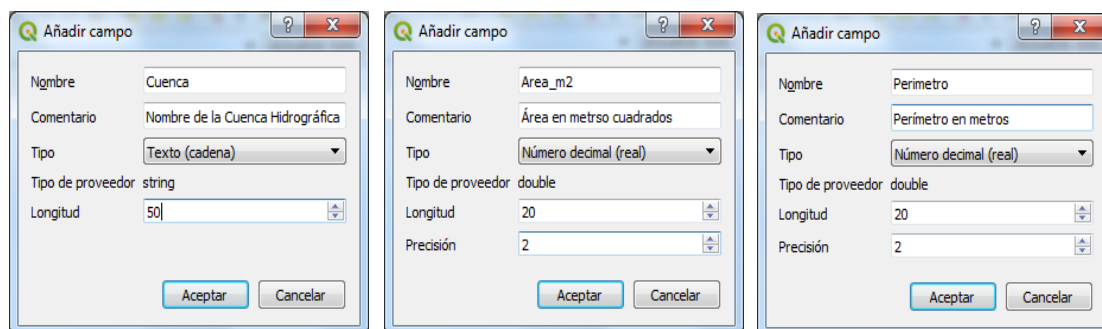


Figura 65.

Cada registro de la tabla se puede completar de forma manual, posicionándose sobre la celda correspondiente y digitando el valor pertinente (dependiendo del tipo de dato del campo) o seleccionando la opción de **Calculadora de campo** mencionada anteriormente y utilizando

códigos SQL. Para el ejemplo, el campo Cuenca se llenará manualmente con el nombre: Pilahuinco Grande, los campos numéricos (tipo doble o con decimales); Área y Perímetro se calcularán automáticamente con la calculadora de campos. Para este paso se debe acceder a dicha calculadora, en ella establecer los parámetros para la actualización del campo respectivo, explorando el cuadro de expresiones. Se encuentra agrupados por temas los diferentes tipos de códigos para construir las consultas de las expresiones. Para el ejercicio se utilizará las expresiones **\$area** y **\$perimeter** en el **grupo Geometría** (Figura 66).

Nota: si se conoce el código correspondiente se puede buscar en la casilla Buscar en la parte superior de los grupos de códigos disponibles.

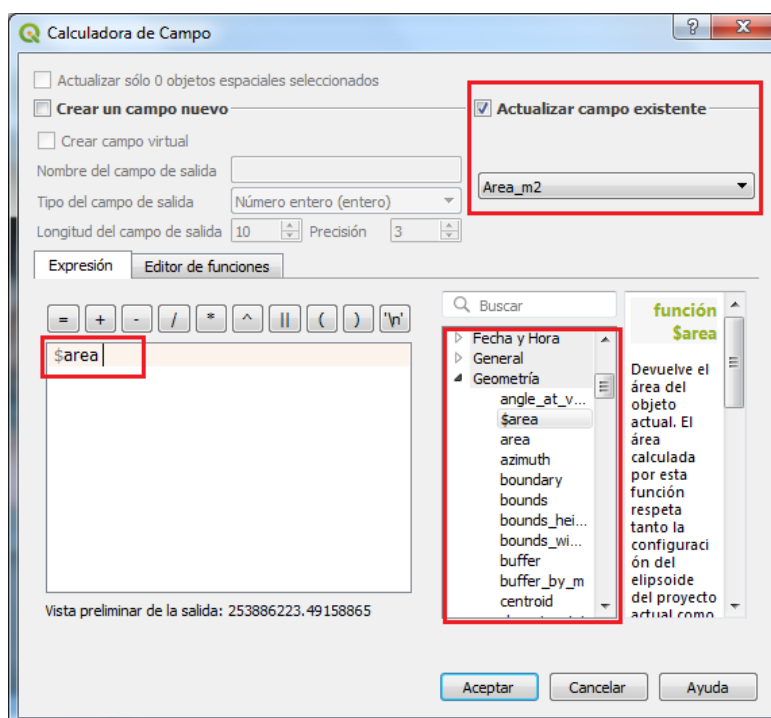


Figura 66.

Hecho lo anterior en cada campo y diligenciando la información correspondiente, se debe finalizar la edición de la capa en el icono de **Conmutar edición** (Figura 67), quedando de esta forma la capa Cuenca Hidrográfica terminada.

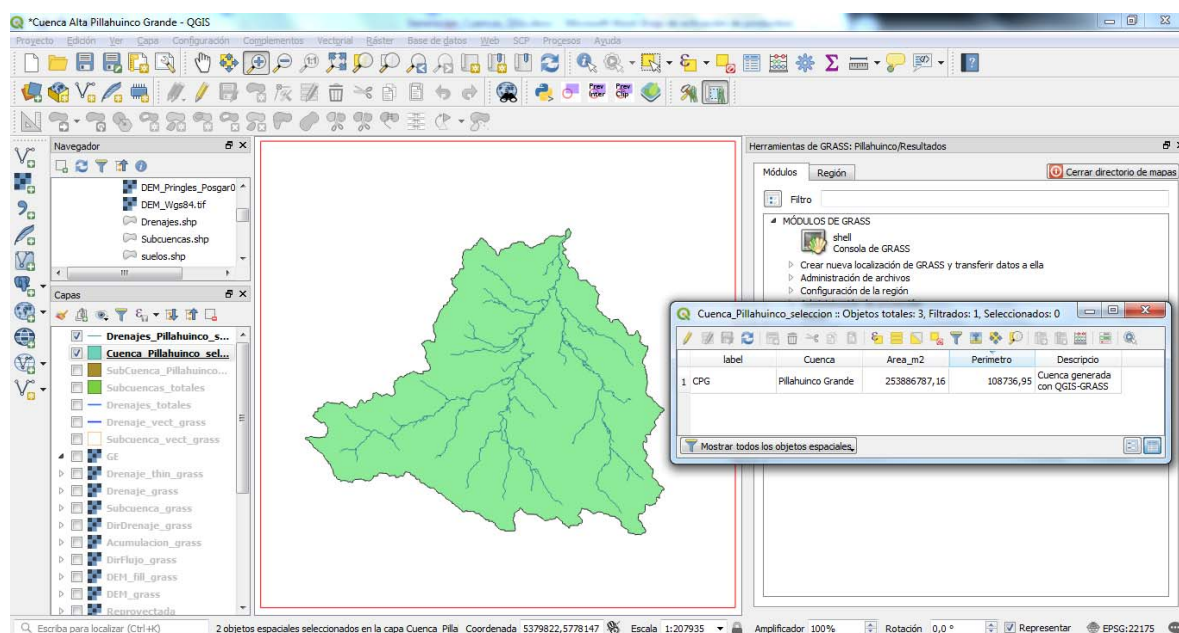


Figura 67.

La metodología expuesta propone una forma de delimitar una cuenca hidrográfica mediante un modelo de elevación digital, la cual se compone por las áreas de captación definidas por los módulos geográficos del GRASS, sin permitir definir un punto arbitrario de desembocadura de la cuenca, diferente al de una subcuenca definida en el proceso.

Delimitación de cuencas hidrográficas a partir de la definición de un punto de cierre

La delimitación de una cuenca hidrográfica es posible realizarla por medio de la definición de un punto de cierre de la misma, considerando coordenadas conocidas por el usuario. Para ello se identifica un punto de salida determinado por el usuario, sobre el curso de agua que integra el territorio.

Inicialmente, para ayudar al proceso de definición e identificación del punto de desembocadura de la cuenca, es de utilidad observar el territorio por medio de cartografía topográfica y/o de base, de imágenes satelitales o de fotografías aéreas, para identificar este punto de cierre, que puede ser un punto geográfico determinado, como un puente o una obra hidráulica, por ejemplo. Este proceso lo puede realizar en QGIS al cargar una imagen georreferenciada directamente al visor de mapas de QGIS, proveniente de algún directorio del equipo, por debajo de las capas anteriormente definidas. Igualmente, se puede realizar una conexión a mapas o imágenes online por medio de diferentes métodos como los son Plugins o complementos de QGIS (Ej. OpenLayer).

Conexión de mapas on line para delimitar cuencas hidrográficas

Antes de empezar a trabajar, se recomienda habilitar el módulo de Open Layers Plugin. Para esto se debe ir a la barra de herramientas Complementos / Administrar e instalar complementos; allí se busca “Open Layers Plugin” y al aparecer en el cuadro inferior chequear la casilla del complemento e instalarlo o actualizarlo con los botones ubicados en la parte inferior del cuadro derecho de la ventana. Este complemento se despliega en la Barra de herramientas Web, donde se muestran el complemento de Open Layers, como ser las capas de información geográfica, como por ejemplo la de Google Maps, Open Street Maps, Bing Maps, entre otras.

Nota: se debe tener conexión a internet para utilizar este complemento.

Otra forma de realizar una conexión a mapas online es por medio de capas temáticas pre-cargadas en QGIS 3.X, utilizando la herramienta XYZ tiles, el cual utiliza el protocolo **Tile Map Service (TMS)**.

En el panel de Navegador, localizar el título **XYZ Tiles**, dar clic derecho y seleccionar “**Nueva conexión**”; se despliega una ventana en la cual se asigna el nombre de la conexión y la URL del servidor de mapas que se está solicitando, por ejemplo para conectarse con el servicio de Google Satelital se pondrá dicho nombre y la siguiente URL en sus respectivas casillas <http://www.google.cn/maps/vt?lyrs=s@189&gl=cn&x={x}&y={y}&z={z}>, dar aceptar (Figura 68).

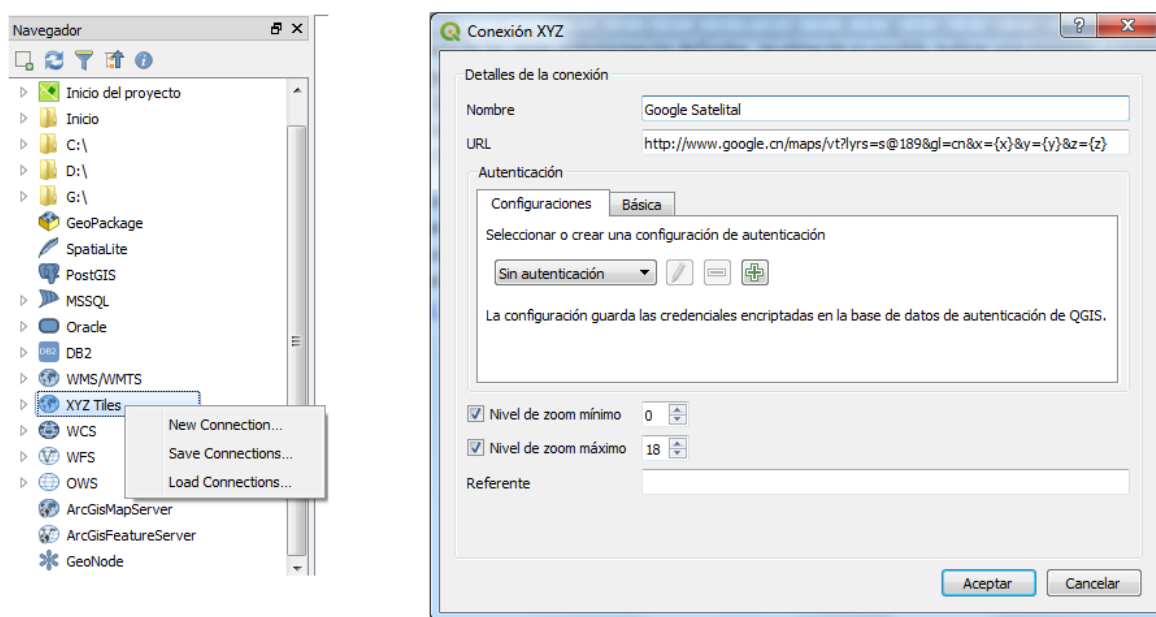


Figura 68.

Existen variedad de URL enfocadas a diferentes servidores de mapas con diversas temáticas, dichas fuentes de datos se mencionan en el Capítulo 6.

En el panel **Navegador** aparecera la conexión al interior de **XYZ tiles**, con el nombre asignado anteriormente, el cual al presionar doble click sobre el mismo se añadirá al panel de Capas y al visor

de mapas de QGIS la imagen satelital de dicho servidor. Esta imagen se actualizará automáticamente mediante se realice acercamientos o alejamientos a las capas cargadas (Figura 69).

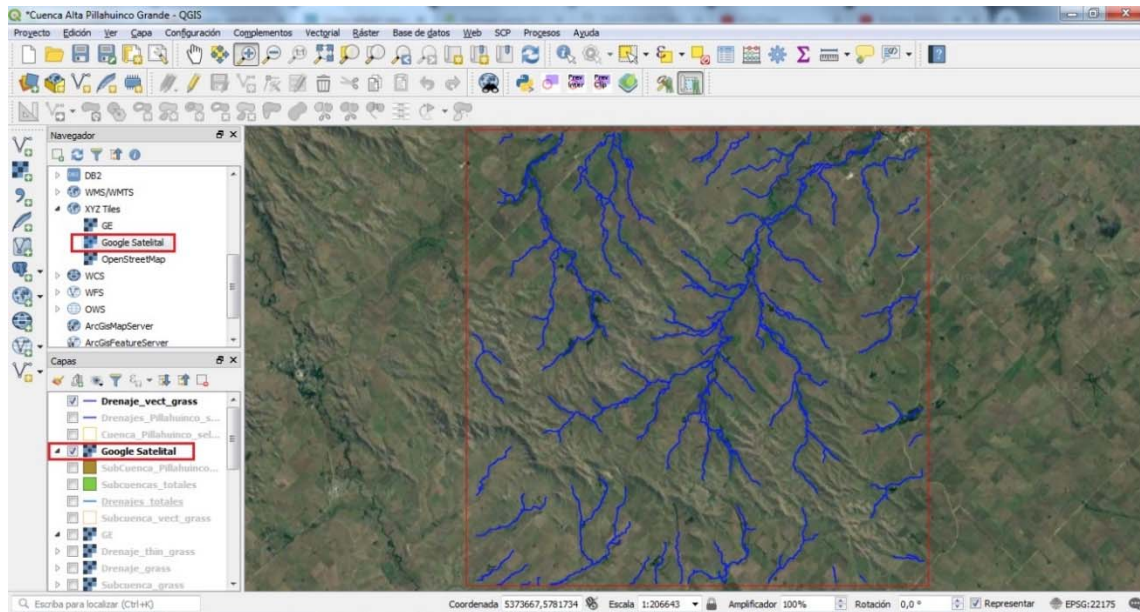


Figura 69.

La imagen satelital contribuye a localizar claramente la salida de la cuenca en el terreno. Para este ejemplo, utilizando las capas creadas con el módulo GRASS, como el drenaje, se buscará un punto colindante a un drenaje principal y su posterior comparación se asignará un punto que coincida con la desembocadura de la cuenca creada anteriormente por el método de selección de áreas de captación (Figura 70).

Nota: si se observa un desplazamiento entre la imagen y la información generada es debido a georreferenciación disímil o con otros métodos de la fuente del servido de mapas conectado.

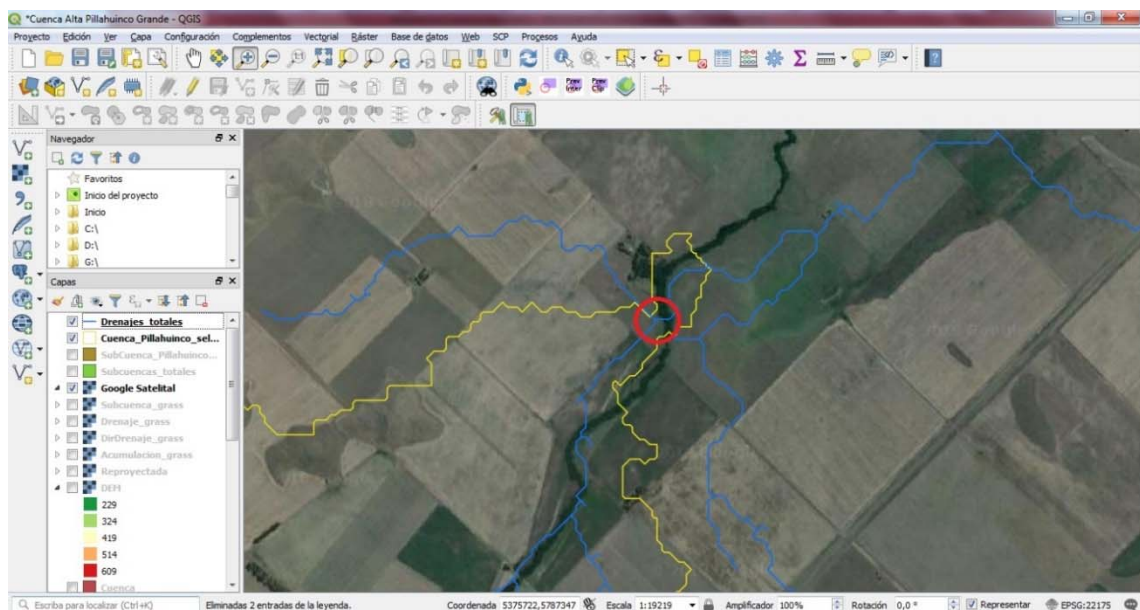


Figura 70.

El siguiente paso es capturar las coordenadas del punto que va a definir el cierre de la cuenca. Existen diversas formas, como lo es obtener dicho par cardinal de otra fuente de datos, como por ejemplo Google Earth © u otra capa puntual con información relevante, por medio de archivos de tablas u hojas de cálculo en formato de separación por comas, o capturando manualmente sobre el visor de mapas. Este último se realizará por medio de la herramienta de **Captura de coordenadas** la cual se localiza en la **barra de herramientas Vectorial**.

Nota: si no se encuentra en el listado hay que habilitarla en la sección de completos, tal cual como se realizó con el módulo GRASS.

Al activar el panel de **Captura de coordenadas** se debe que oprimir el botón “**Comenzar captura**”, habilitando así el puntero para seleccionar sobre el visor de mapas el lugar donde se desea obtener las coordenadas. Al dar click se muestran las coordenadas, planas y geográficas, en el respectivo panel. Estos pares se pueden copiar al portapapeles y pegarlos en alguna fuente de paso momentánea (ej. Block de notas) para luego ser utilizadas en un paso posterior (Figura 71).

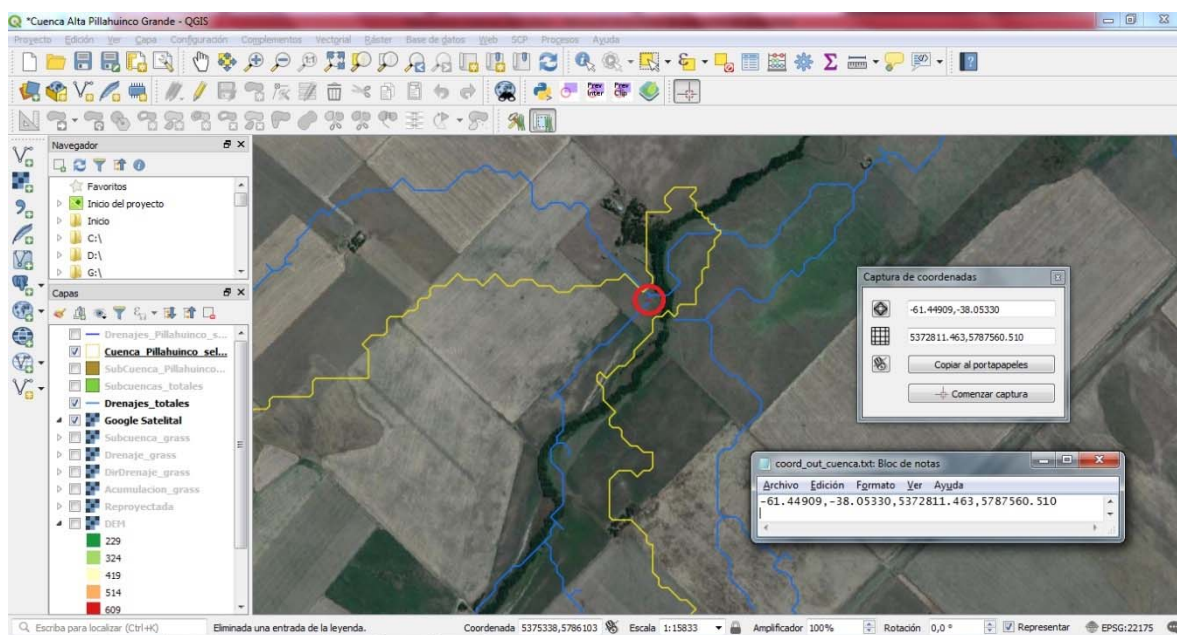



Figura 71.

Una vez se conocen las coordenadas, se habilita nuevamente el panel de Abrir Herramientas de GRASS, para ejecutar el código `r.water.outlet` (Figura 72), el cual abre una pestaña en donde se selecciona en capa de entrada la dirección de drenaje (`DirDrenaje_grass`) que se obtuvo en el proceso de creación de subcuencas.

Nota: recordar marcar el icono de “Usar región del mapa”; el archivo de salida tiene formato ráster y se encuentra en los archivos de GRASS; como solo es el límite de la cuenca el ráster tendrá un único valor y la imagen se mostrará en negro.

Siguiente, se le asigna las coordenadas capturadas en el paso anterior, en la primera casilla se coloca la coordenada X o el primer valor correspondiente a las coordenadas planas del icono  y en el siguiente espacio el segundo valor después de la coma de la misma casilla, correspondiente a la coordenada Y.

Por último, asignar el nombre del archivo de salida, el cual para el caso se denominó Cuenca_punto_grass; finalizar con **Ejecutar** el módulo y si el proceso es satisfactorio oprimir **Ver salida** para subirlo al navegador de capas del QGIS (Figuras 72, 73 y 74).

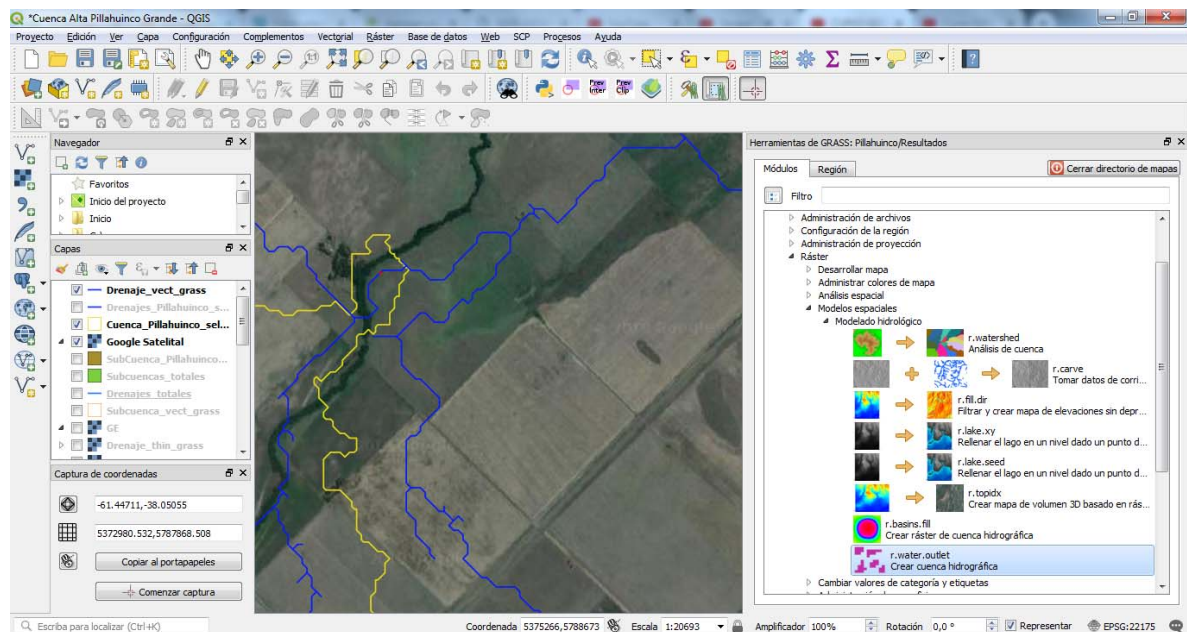


Figura 72.

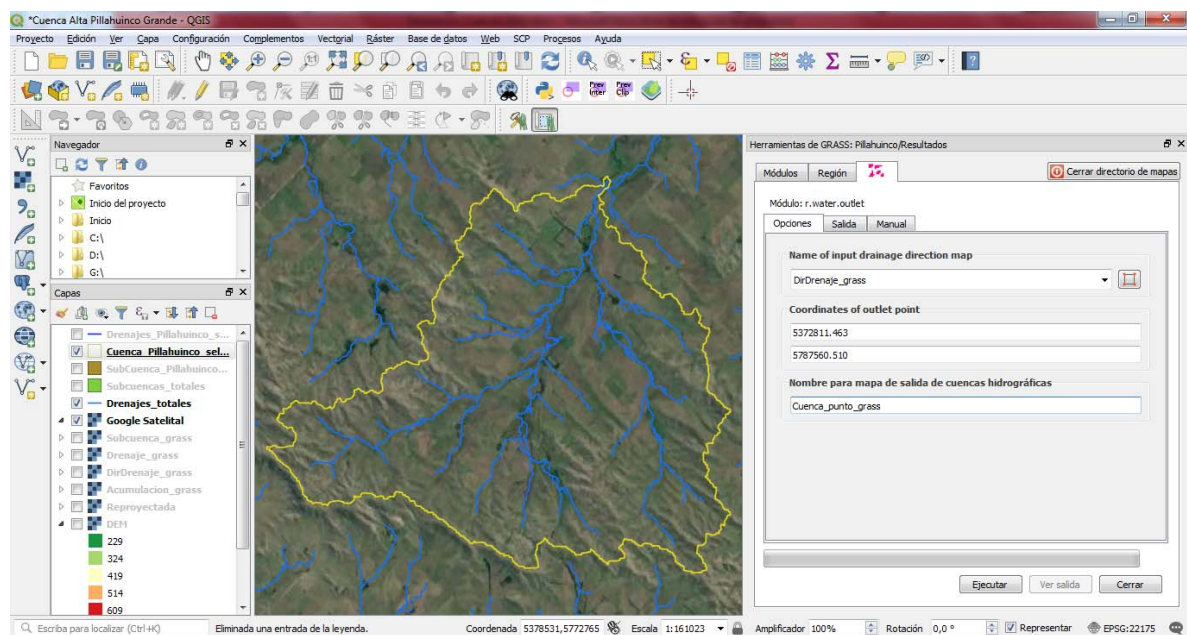


Figura 73.

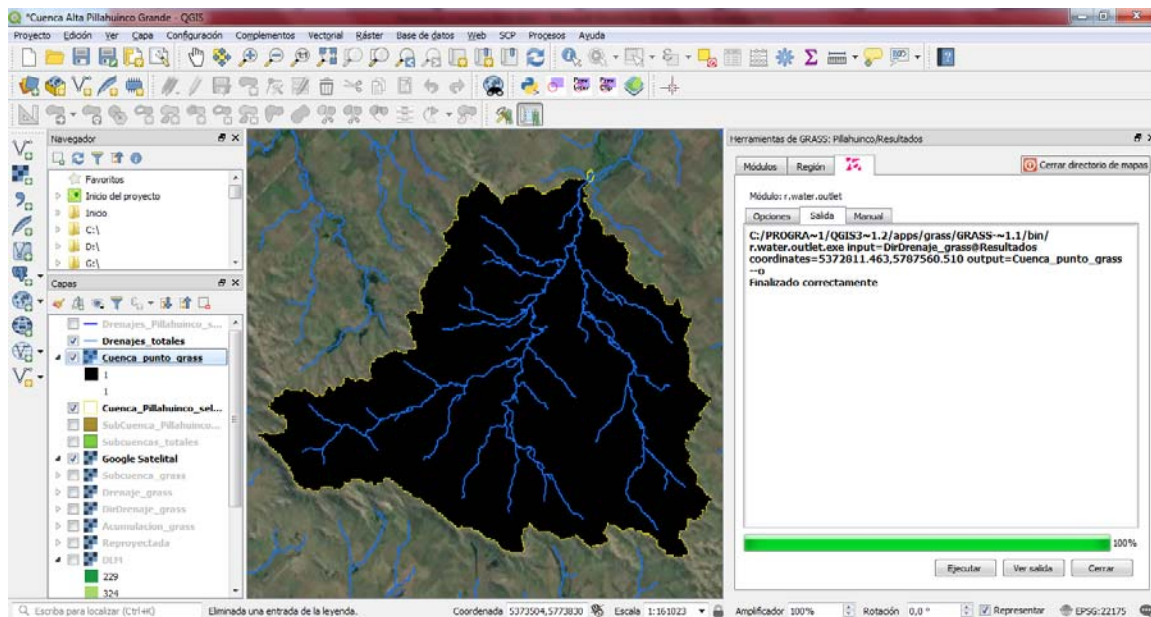


Figura 74.

Como se puede apreciar la cuenca resultado de este método tiene la misma geometría o forma que la cuenca calculada seleccionando las áreas de captación o subcuencas calculadas por GRASS. Sin embargo, la ventaja es que es posible asignar cualquier punto de salida de la cuenca y no ceñirse a las definidas por las subcuencas automáticas.

Debido a que el resultado es una capa ráster, el siguiente paso es convertir dicha información en formato vectorial (shapefile). Para esto se realiza el mismo procedimiento mostrado al convertir las subcuencas a polígonos, con el comando **"r.to.vect.area"** y su posterior exportación de GRASS a shapefile por medio del comando **"v.out.ogr"** (para el ejemplo se les asigno el nombre Cuenca_punto_vect_grass y Cuenca_Pillahuinco_punto.shp respectivamente, guardando este último en la carpeta de Finales del directorio de trabajo establecido previamente). Hecho lo mencionado, se carga el archivo de cuenca guardado al navegador de capas (Figura 75).

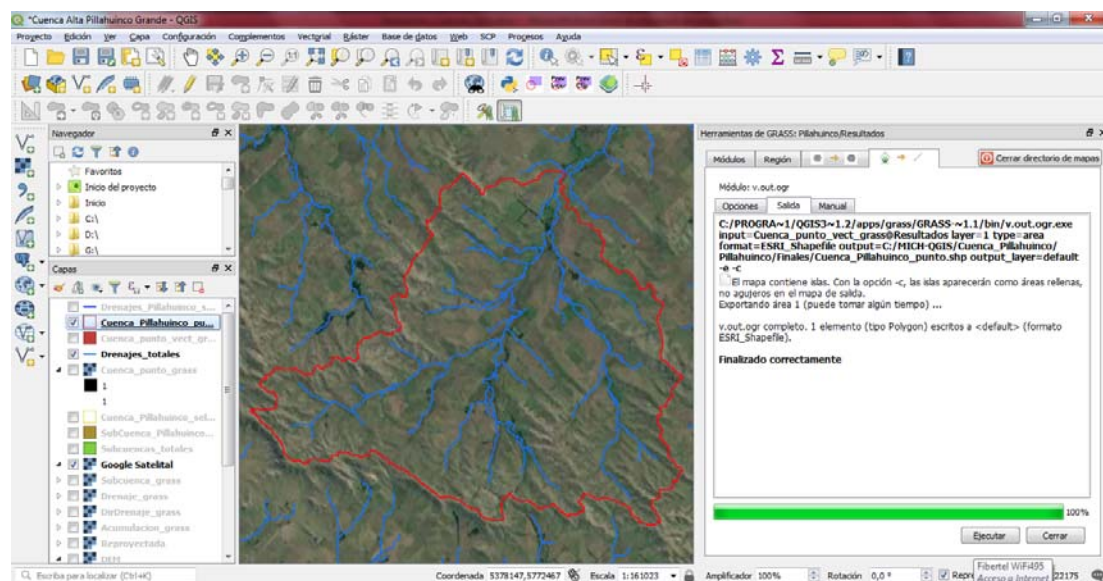
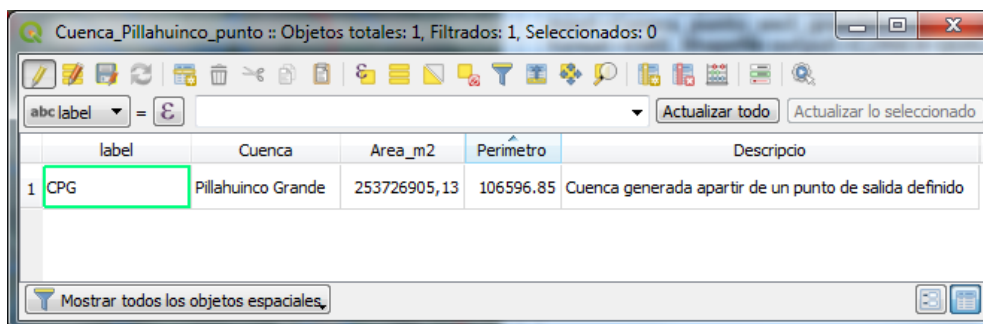


Figura 75.

Para finalizar el nivel de información completo se deben asignar los atributos geográficos básicos al polígono de la cuenca. De la misma forma en la cual se completó la capa de cuenca con el método de selección de subcuencas, se completan los registros de la anterior cuenca por medio de su tabla de atributos, definiendo para este caso los mismos nombres de campos (Figura 76).



label	Cuenca	Area_m2	Perímetro	Descripcio
1 CPG	Pillahuinco Grande	253726905,13	106596.85	Cuenca generada apartir de un punto de salida definido

Figura 76.

Las anteriores metodologías muestran cómo se genera una cuenca hidrográfica de dos formas diferentes a partir de un DEM con la utilización de la herramienta GRASS, incluida en el programa QGIS, las cuales alcanzan los mismos resultados, debido a que el punto de desembocadura de la cuenca se localizó en un punto cercano en ambas metodologías. Cualquiera de las dos opciones es válida, dependiendo del nivel de detalle y la investigación que se quiera realizar.

Caracterización morfométrica con SIG

Parámetros de forma

El cálculo de los parámetros morfométricos de una cuenca hidrográfica se realizará con el programa QGIS 3X, utilizando las capas vectoriales y ráster manejadas en el proceso de la delimitación de la cuenca hidrográfica en estudio. Para ello hay que abrir un **nuevo proyecto** en dicho programa e ir cargando las capas a medida que se requiera el proceso del parámetro buscado.

Perímetro (P)

El resultado final de la generación de la cuenca dio como resultado una capa vectorial tipo polígono, en la cual se diligenciaron sus parámetros básicos. En ella se generó y se calculó un campo de perímetro (en metros). Se utilizará la misma capa, pero en esta ocasión se generará un campo nuevo calculando el parámetro en cuestión en kilómetros.

Abrir la tabla de propiedades, dando clic derecho sobre la capa, en ella **Habilitar el modo de edición** y seleccionar la **Calculadora de campos**. En la ventana emergente, en esta ocasión, se generará un nuevo campo, chequeando la casilla “**Crear campo nuevo**”

Nota: usualmente viene tildado por defecto; también es posible generar un campo virtual, cuya opción se encuentra debajo del anterior, para análisis transitorios, el cual se eliminará una vez se cierre la sesión y no quedará registrado en la capa vectorial.

En el espacio de Nombre del campo de salida se le asigna el nombre al atributo, para este caso se llamará “**Perimet_km**” (*Nota: el nombre del campo no puede exceder los 10 caracteres*). En la lista desplegable posterior se define el tipo de dato en cual tendrá el campo, para este caso será tipo de Numero decimal (real) y en su precisión (número de decimales) se le da el valor de 2 (la longitud del campo puede quedar por defecto, esta opción es más relevante cuando el tipo de dato es texto). Por último, en la **pestaña Expresión**, en el cuadro de construcción de consultas se crea la operación que llenara el campo en cuestión, para ellos se utilizan las funciones que se encuentran en la parte derecha de la ventana. De igual forma como se calculó el perímetro en la generación de la cuenca final se utiliza el comando **\$perimeter**, en el grupo **Geometría** ya que este calcula el perímetro de la forma poligonal de la capa.

Nota: tener en cuenta que el polígono no debe contener huecos o errores topológicos, de lo contrario el resultado será vacío en el campo.

No obstante, hay que recordar que este comando arroja los valores en metros, por lo cual este comando hay que dividirlo por el valor de 1000, para que finalmente llene el campo con los valores en kilómetros (Figura 77).

Nota: apoyarse en la vista previa del valor de la expresión en la parte inferior del cuadro de consultas.

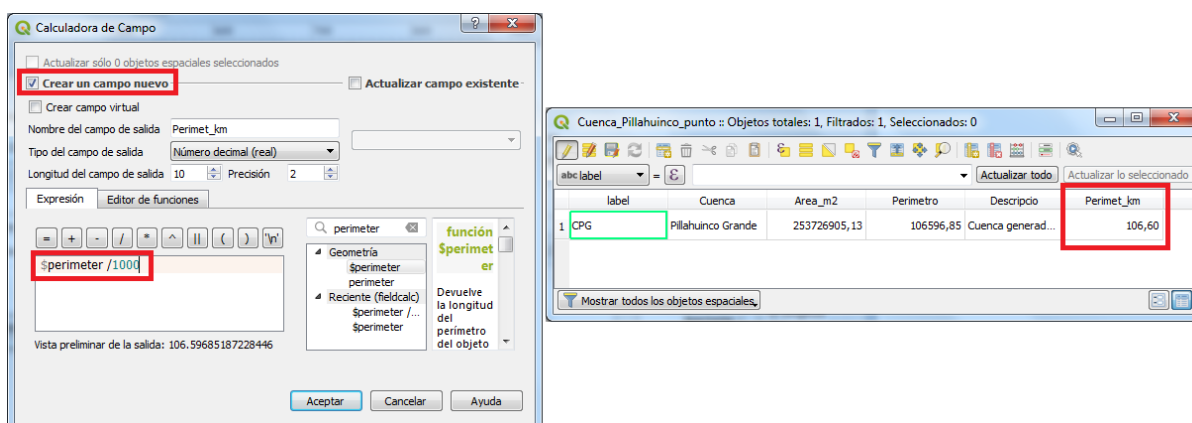


Figura 77.

Área (A)

Para calcular el área de la cuenca se hace de igual forma que se explicó anteriormente con el perímetro. También se genera un campo nuevo con el nombre de “Area_km2” con las mismas características de tipo de dato y en la construcción de la consulta se utiliza el comando “\$area”. Recordar que esta función calcula la geometría en metros cuadrados, por lo que hay que transformar dicho valor dividiendo el comando por 1.000.000, arrojando de esta forma el resultado en kilómetros cuadrados (Figura 78).

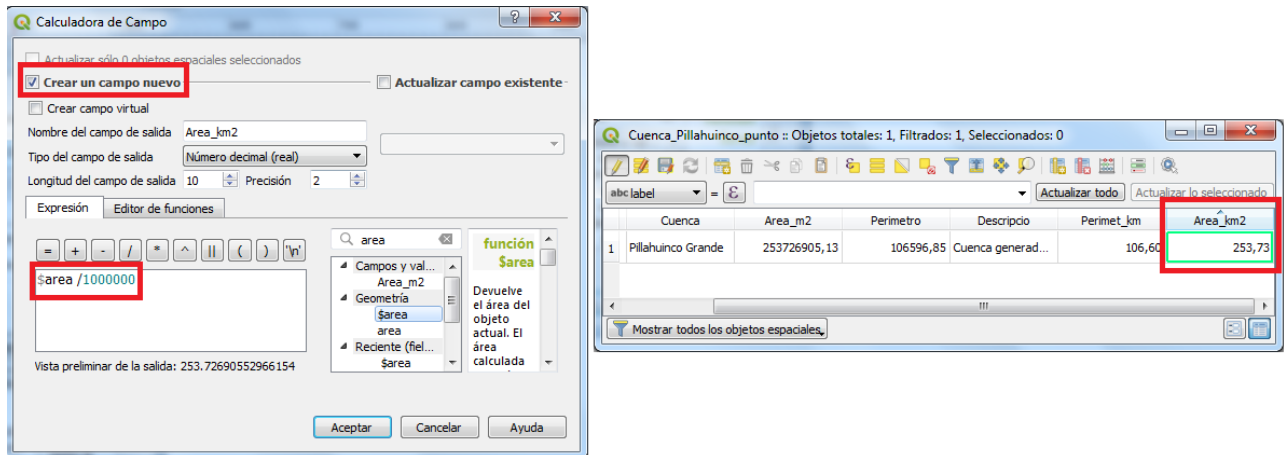


Figura 78.

Longitud axial (La)

La longitud axial es la distancia más alejada desde la desembocadura de la cuenca hasta la cabecera de la misma, coincidiendo en algunos casos con el punto con mayor altura, la cual al ser una distancia común es posible medirla con la herramienta “Medir Línea”, ejecutándola desde el icono correspondiente, se despliega una ventana donde al marcar un punto de inicio y final con el puntero del ratón se calcula la distancia de dicho tramo en metros. Si se desea modificar las unidades se debe seleccionar dicha preferencia en la lista desplegable al lado derecho de la casilla Total (Figura 79). Para este caso la longitud axial de la cuenca de estudio es aproximadamente 21 km.

Nota: es posible marcar la longitud de varios segmentos de línea, en el cuadro superior se irán marcando las longitudes a medida que se van seleccionando los puntos de cada tramo en el lienzo de QGIS.

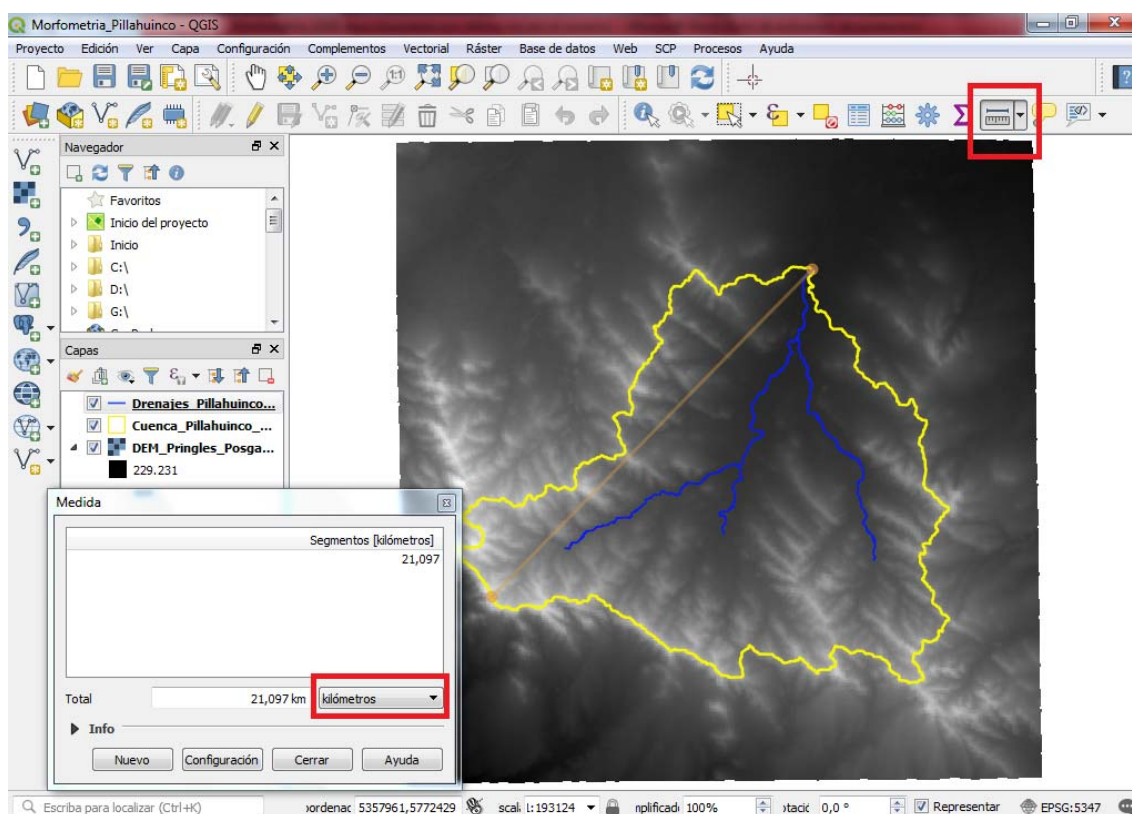


Figura 79.

Parámetros de relieve

Altura máxima (Hmax), mínima (Hmin) y media (AM)

Utilizando la capa raster DEM y el límite vectorial de la cuenca, se utiliza la herramienta **Estadísticas de zona** localizada en el panel de herramientas de QGIS (Figura 80).

Nota: de no estar habilitada dirigirse a la barra de herramientas Ver / Paneles / Caja de herramientas de procesos.

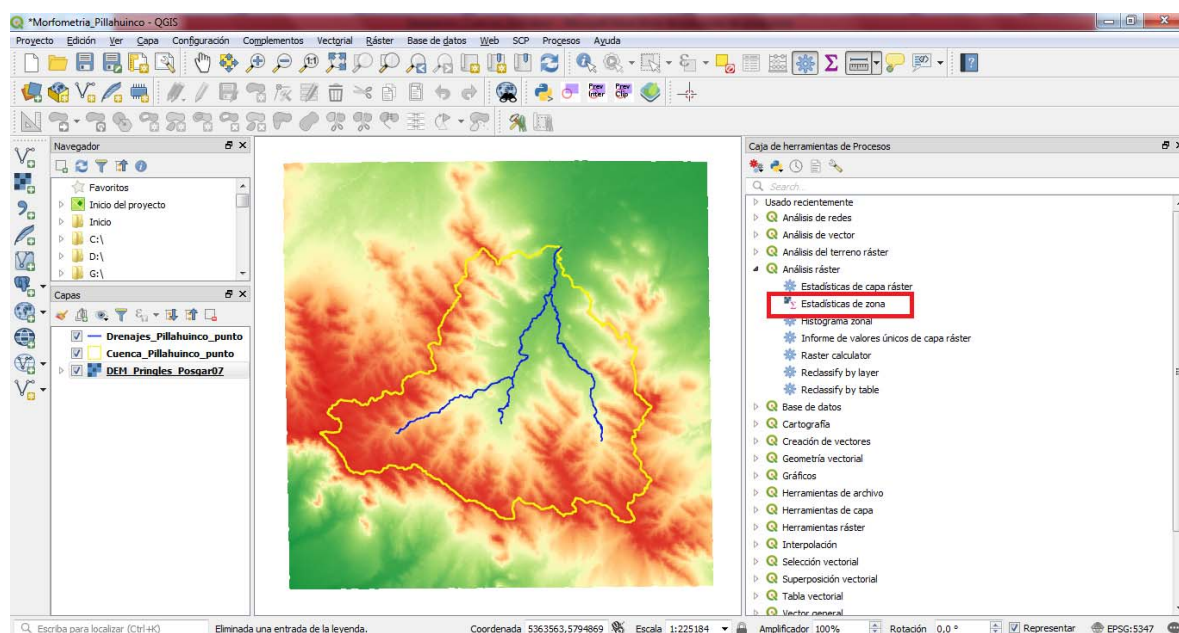


Figura 80.

En la ventana desplegada seleccionar el ráster de entrada, en este caso el DEM, y la capa vectorial que contiene la zona será el polígono de la cuenca hidrográfica. Este proceso genera la creación de campos al interior de la capa vectorial de zonas, es decir la de la cuenca, con la información estadística solicitada proveniente del DEM (valores de altura del terreno). Por tal razón el programa pide definir el prefijo que tendrán dichos campos creados, para que el usuario identifique claramente los resultados al en la Tabla de atributos. La casilla de **“Prefijo de la columna de salida”** indica asignar un valor para dicha identificación. Por defecto se encuentra el símbolo guion al piso “_”, el cual se deja por defecto en esta ocasión.

Por último, se debe definir las estadísticas a calcular en la capa. Para el ejemplo se seleccionarán los parámetros de estadística descriptiva básica media, mediana, máximo y mínimo (Figura 80). Al dar en Ejecutar la herramienta escribe sobre la Tabla de atributos de la capa, por lo cual hay que abrirla y revisar la información generada, allí en las columnas “_mean” “_min” y “_max” para encontrar los valores de altura (msnm) (por ejemplo: mínimo 274,47 msnm y máximo 608,23 msnm) contenidos al interior de la cuenca de estudio. Identificando estos puntos en el mapa se localizan en la desembocadura y cabecera de la misma respectivamente, como se muestra en las Figuras 81 y 82.

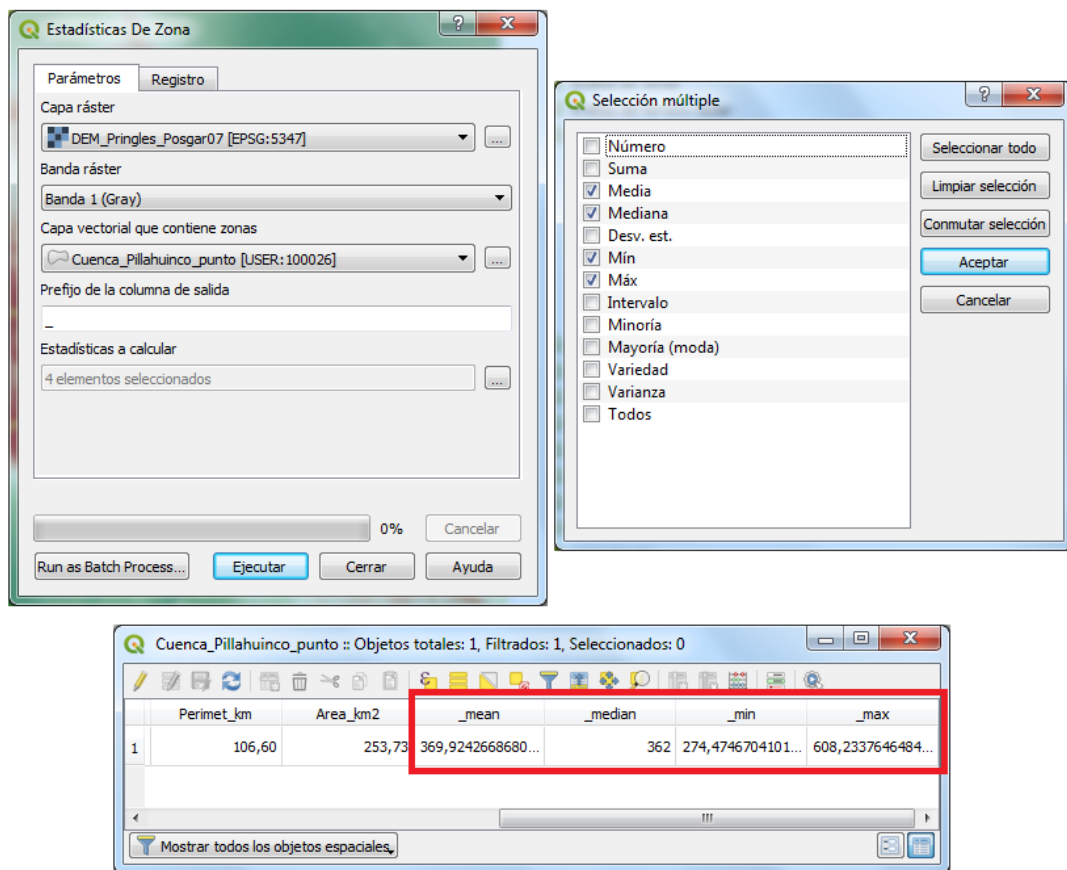


Figura 81.

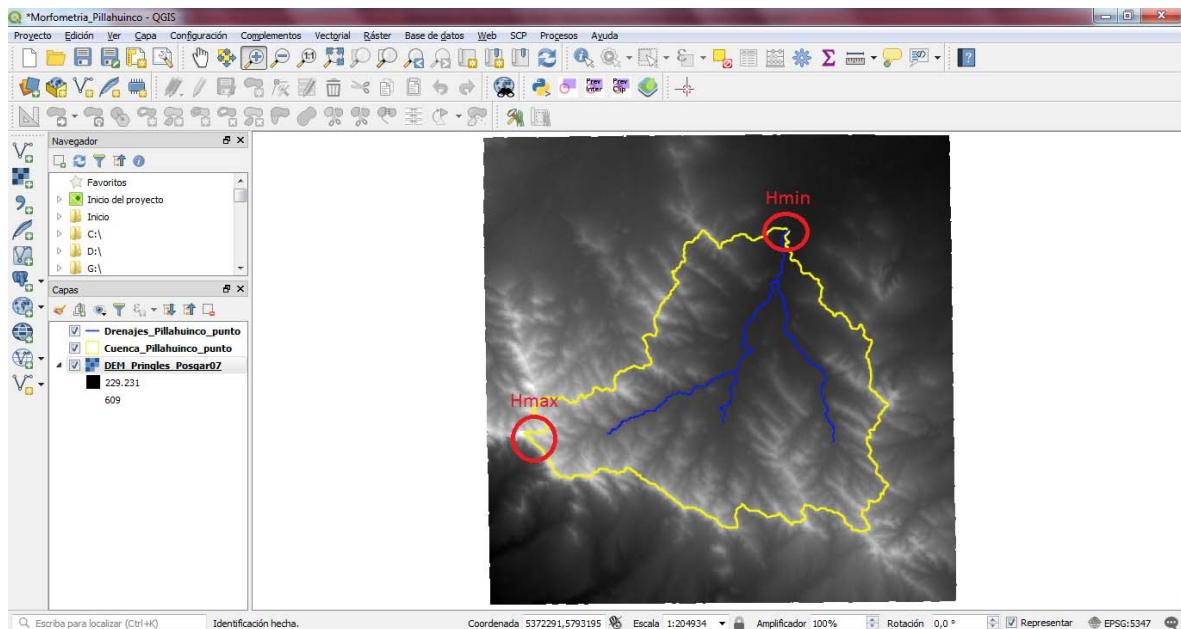


Figura 82.

Pendiente

El análisis de pendiente se realiza en formato ráster con base en el DEM. Se utiliza el proceso ubicado en la barra de herramientas Ráster / Análisis / Pendiente. Al ejecutarle se coloca como capa de entrada el DEM; se marca la opción de “Pendiente expresada en porcentaje en vez de grados” y por último se guarda el archivo resultante en una carpeta de preferencia. Para el ejercicio se denominará “Pendiente” (Figura 83), y se guarda en el directorio de trabajo generado en el proceso de generación de cuencas en GRASS (en la carpeta Finales) (Figura 84). El resultado arroja un ráster con los valores de las pendientes.

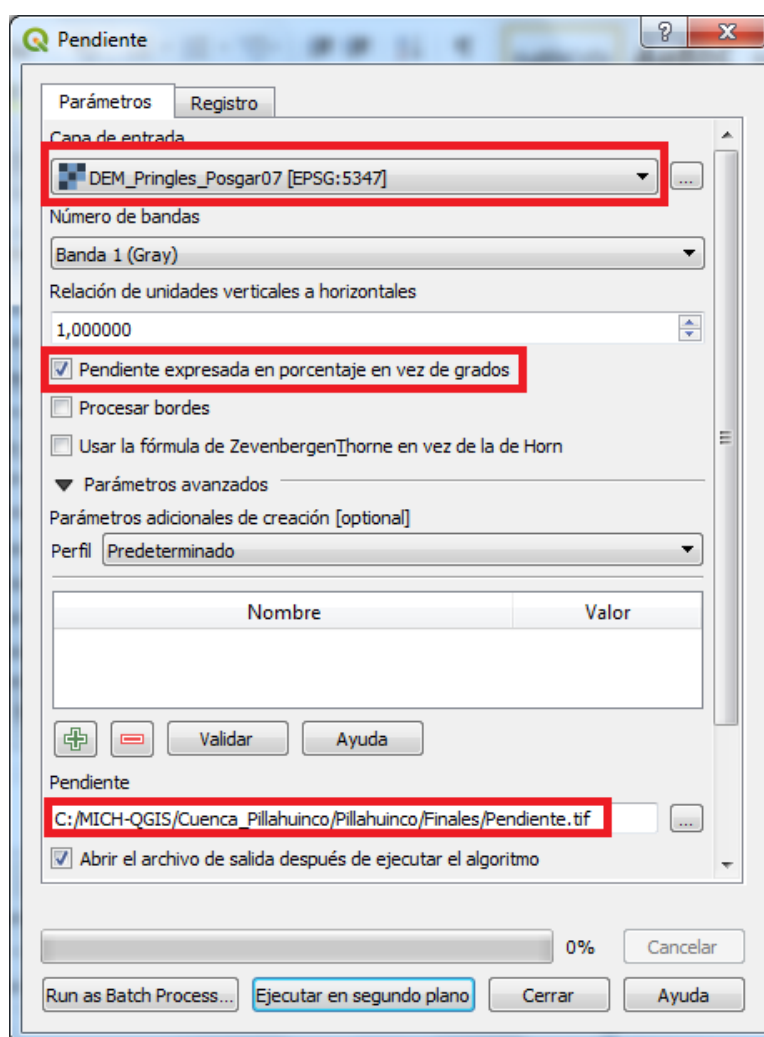


Figura 83.

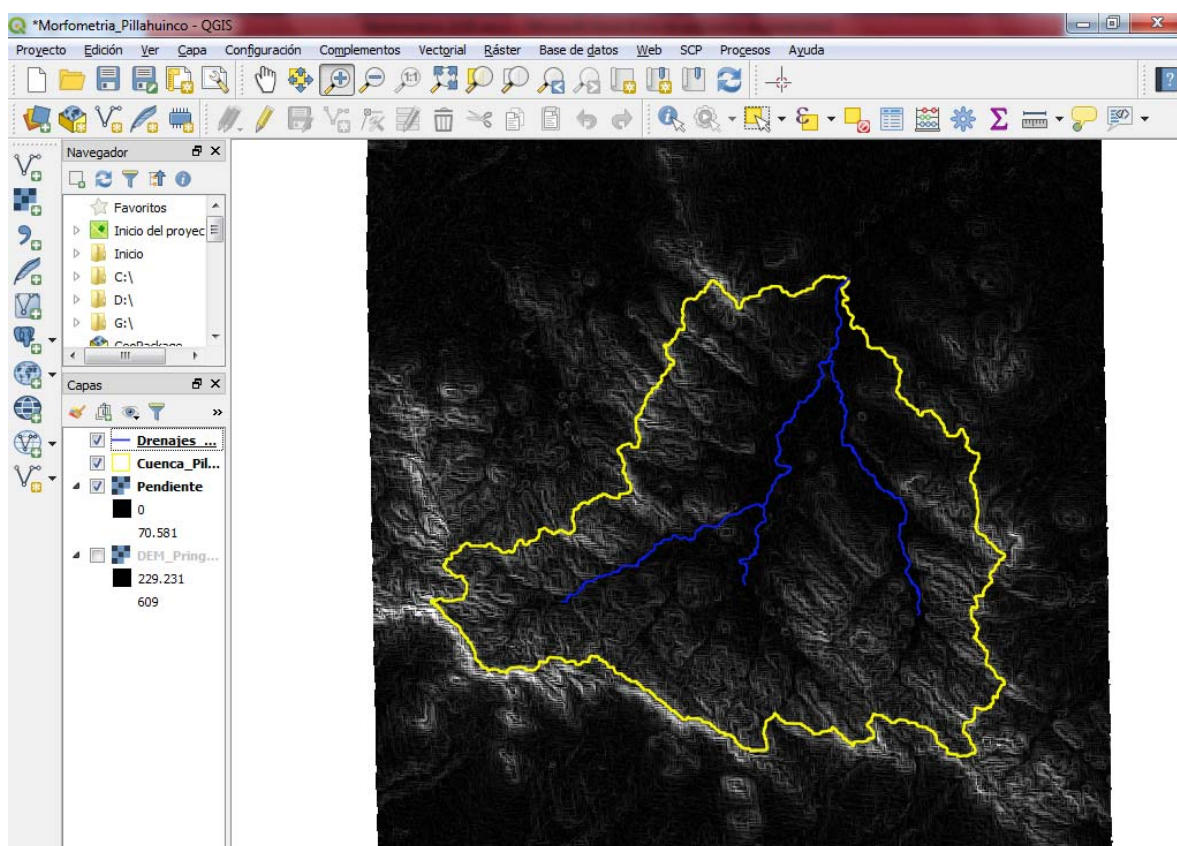


Figura 84.

El siguiente paso es clasificar las pendientes según tipo de relieve de López Cadenas de Llano (1998). Para esto se implementa la herramienta denominada “Reclasificar valores (simple)” localizada en el panel de herramientas de procesos en el módulo SAGA - Herramientas ráster, (Figura 85).

Nota: al igual que GRASS, SAGA es un programa libre de información geográfica, cuyos módulos están disponibles de igual forma en QGIS.

Al abrir la herramienta se debe seleccionar como capa de entrada el ráster de pendiente. Utilizar la condición número 1 en la lista desplegable de método de reemplazo. Posteriormente, en la selección de tabla, oprimir el icono con los tres puntos suspensivos, lo cual abrirá una tabla en donde se definirán los rangos en que se clasifica la pendiente, asignándoles de igual forma un valor de rango, el cual corresponderá a un tipo de relieve especificado según López Cadenas de Llano (1998) (Tabla 1).

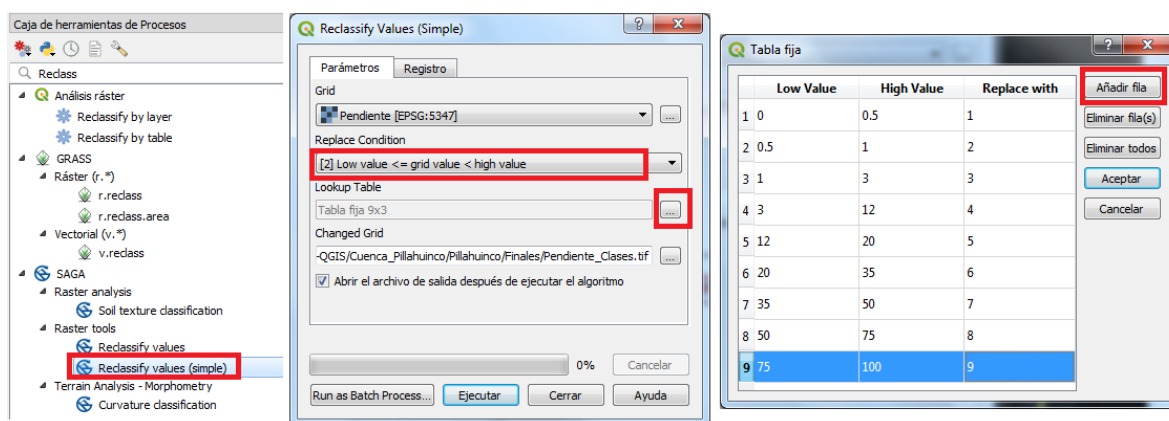


Figura 85.

Tabla 1. Tipos de relieve según rangos de pendiente (%).

Rango de Pendiente (%)	Valor Rango	Tipo de Relieve
< 0,5	1	Muy Plano
0,5 - 1	2	Plano
1 - 3	3	Suave
3 - 12	4	Lomadas
12 - 20	5	Accidentado
20 - 35	6	Fuerte
35 - 50	7	Muy Fuerte
50 - 75	8	Escarpado
> 75	9	Muy Escarpado

El resultado del anterior proceso arroja una capa ráster con los valores de la reclasificación asignados en la Tabla 1 (Figura 86).

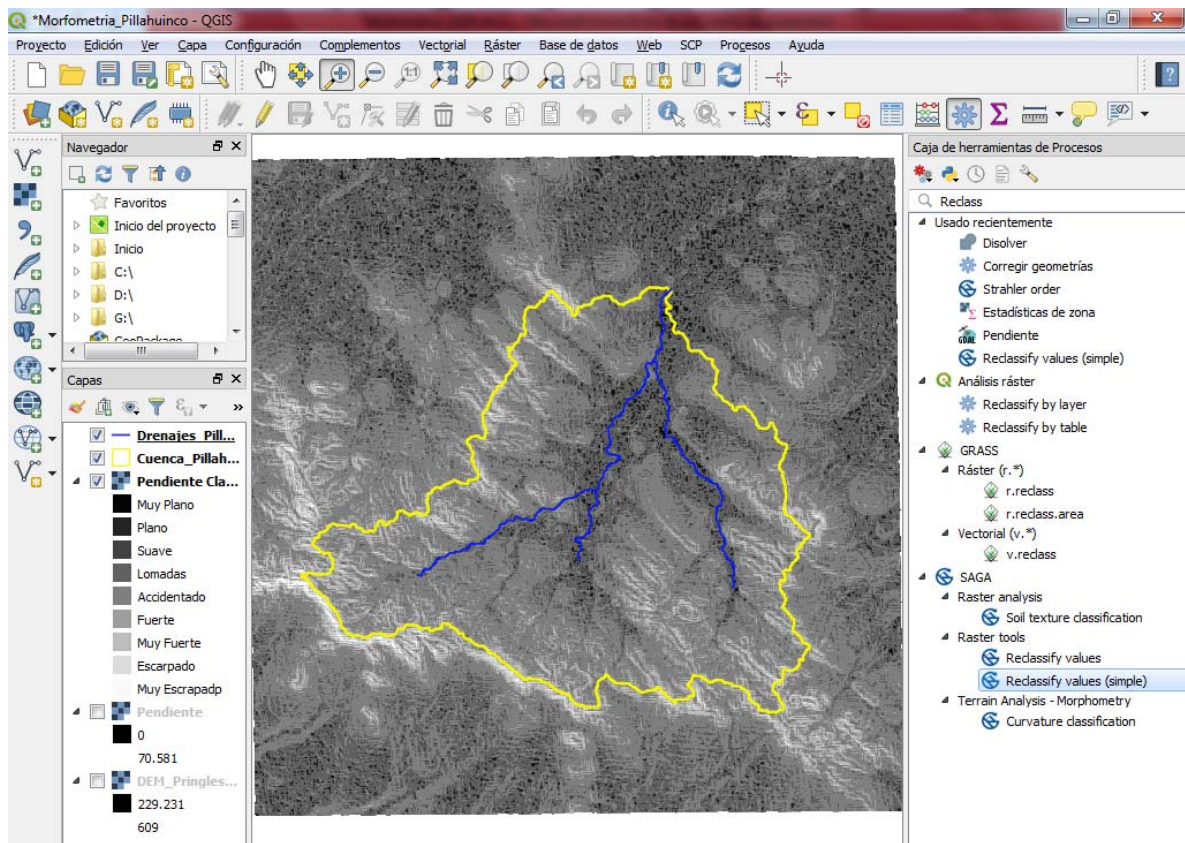


Figura 86.

Orientación

Este parámetro indica la dirección geográfica que poseen las laderas del terreno con respecto al norte geográfico. Se calcula de forma similar a la pendiente, con la herramienta Ráster / Análisis / Orientación. Solo hay que asignar la capa de entrada, los parámetros de orientación (los cuales esta vez se dejaran por defecto) y el nombre del archivo de salida (para el caso se denominara "Orientación" y se guardara en la carpeta Finales) (Figura 87).

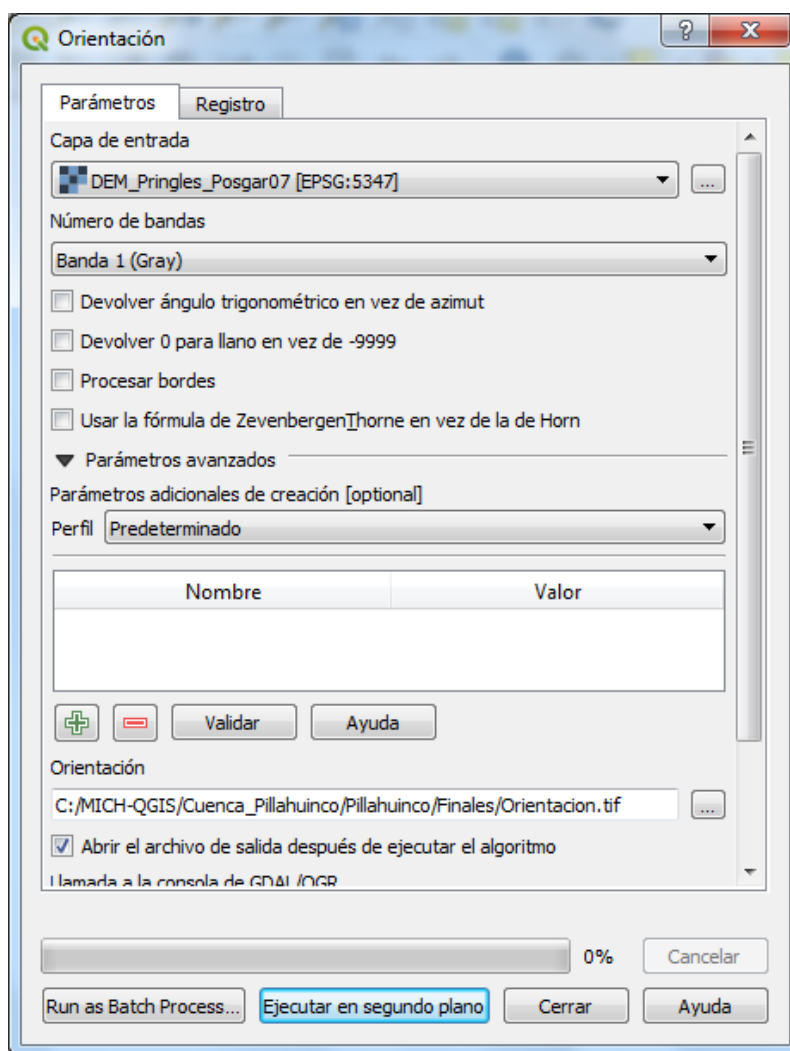


Figura 87.

El resultado es un raster con valor en sus píxeles de 0 a 360 (grados), lo cual representa el azimut de la ladera con respecto al norte.

Para identificar la orientación cardinal de la información se clasifica dicho ráster con los siguientes rangos de valores en grados: *Norte*, 315 - 45; *Este*, 45 - 135; *Sur*, 135 - 225; *Oeste*, 225 - 315. La clasificación se realiza de igual forma que la pendiente, cuyos valores se correlacionan con cada punto cardinal: Norte = 1, Este = 2, Sur = 3, Oeste = 4 (Figura 88).

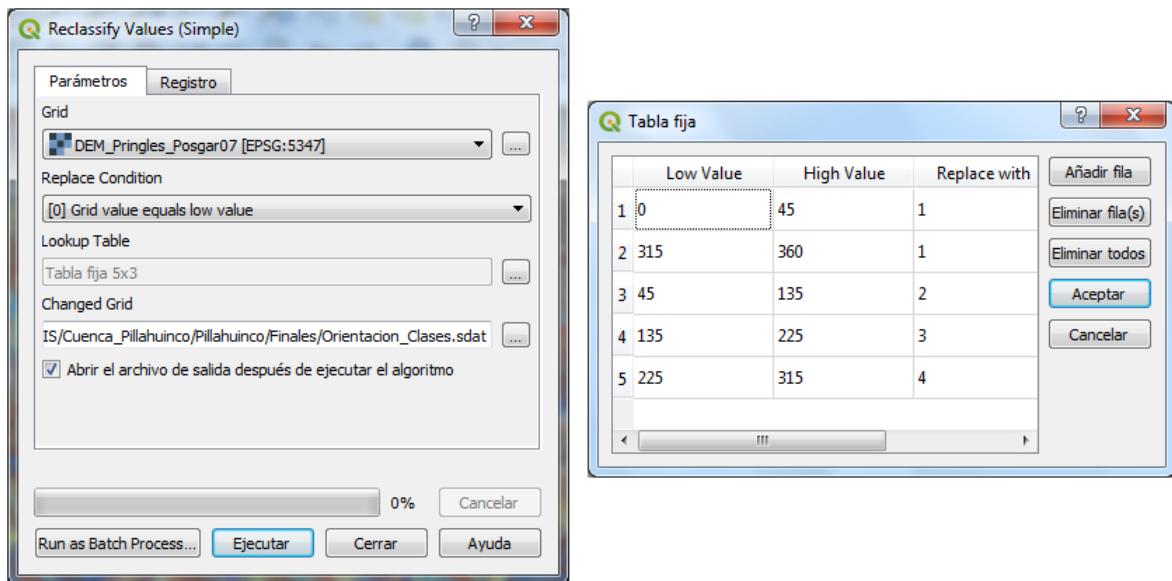


Figura 88.

Como resultado se obtiene un ráster reclasificado indicando la orientación de las laderas en el DEM (Figura 89).

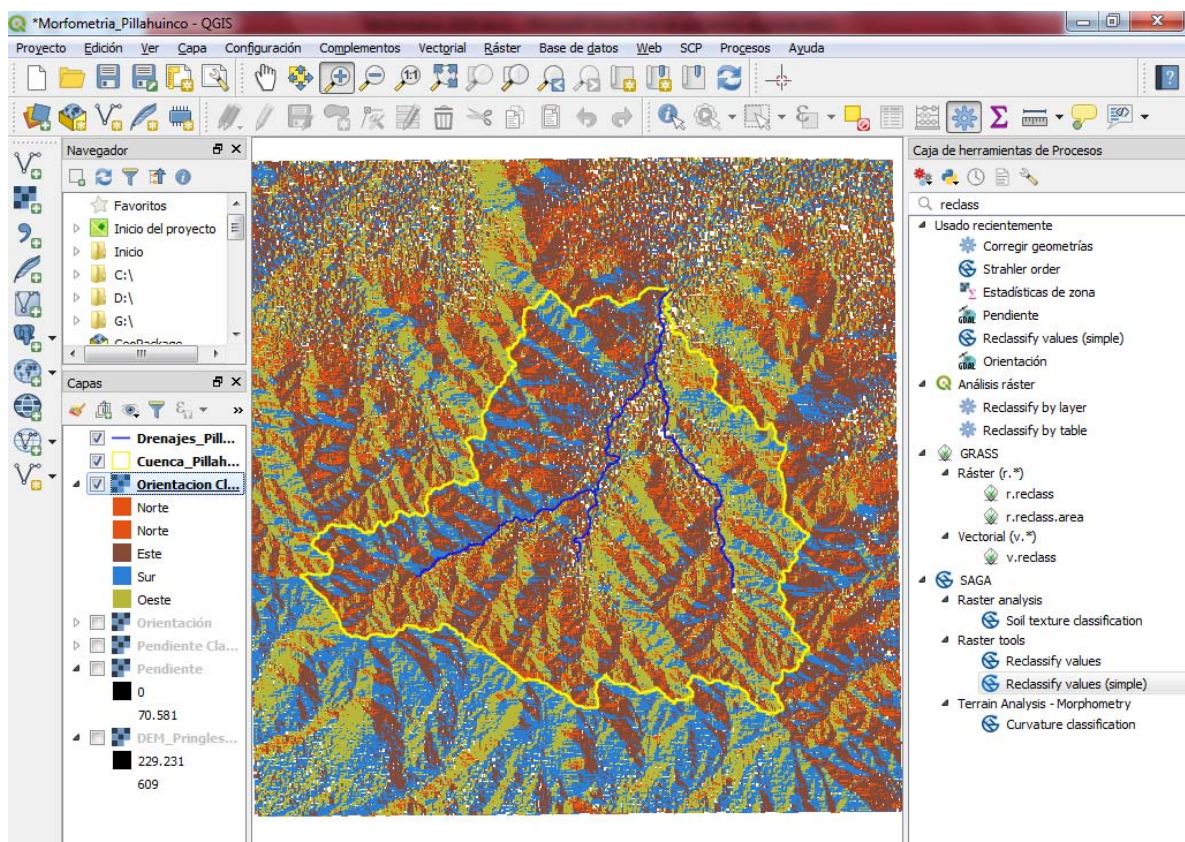


Figura 89.

Parámetros de drenaje

Red de drenaje

La capa perteneciente a la red de drenaje se realizó en el proceso de la generación de cuencas hidrográficas con GRASS. El resultado es una capa vectorial con geometría línea de los cursos de agua correspondiente a la cuenca y a sus áreas de captación.

Nota: El nivel de información en cuestión, para el ejemplo, se guardó en el directorio de trabajo en la carpeta Finales.

Numero de Orden de drenajes

Este parámetro clasifica los drenajes dependiendo su confluencia e importancia en la red hidrológica. El método Strahler (1964) asigna el orden 1 a un curso que carece de tributarios, orden 2 es formado por la confluencia de dos cursos de orden 1 y orden 3 es formado por la confluencia de dos de orden 2, y así sucesivamente, estando estrechamente relacionado con el número de ramificaciones de la red de drenaje.

El orden de drenaje se obtiene por medio del módulo SAGA, en el panel de herramientas de proceso, al interior del grupo de Análisis de terreno / Canales, con el nombre de “**Strahler order**”. En esta herramienta únicamente hay que asignar en la capa de entrada el DEM y el nombre del archivo de salida (Se guarda en la carpeta Finales con el nombre Strahler_order) (Figura 90).

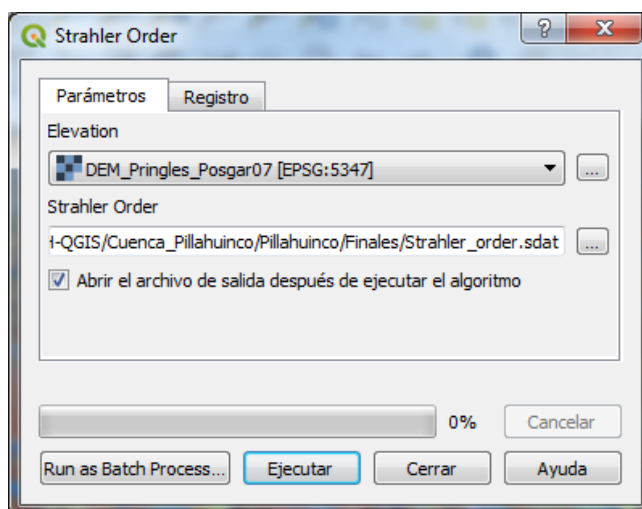


Figura 90.

El resultado muestra un archivo ráster, cuyos píxeles indican el valor de orden de los posibles drenajes que puede existir en la cuenca de estudio con base en el DEM, que para el ejemplo llega hasta el 6to orden (Figura 91).

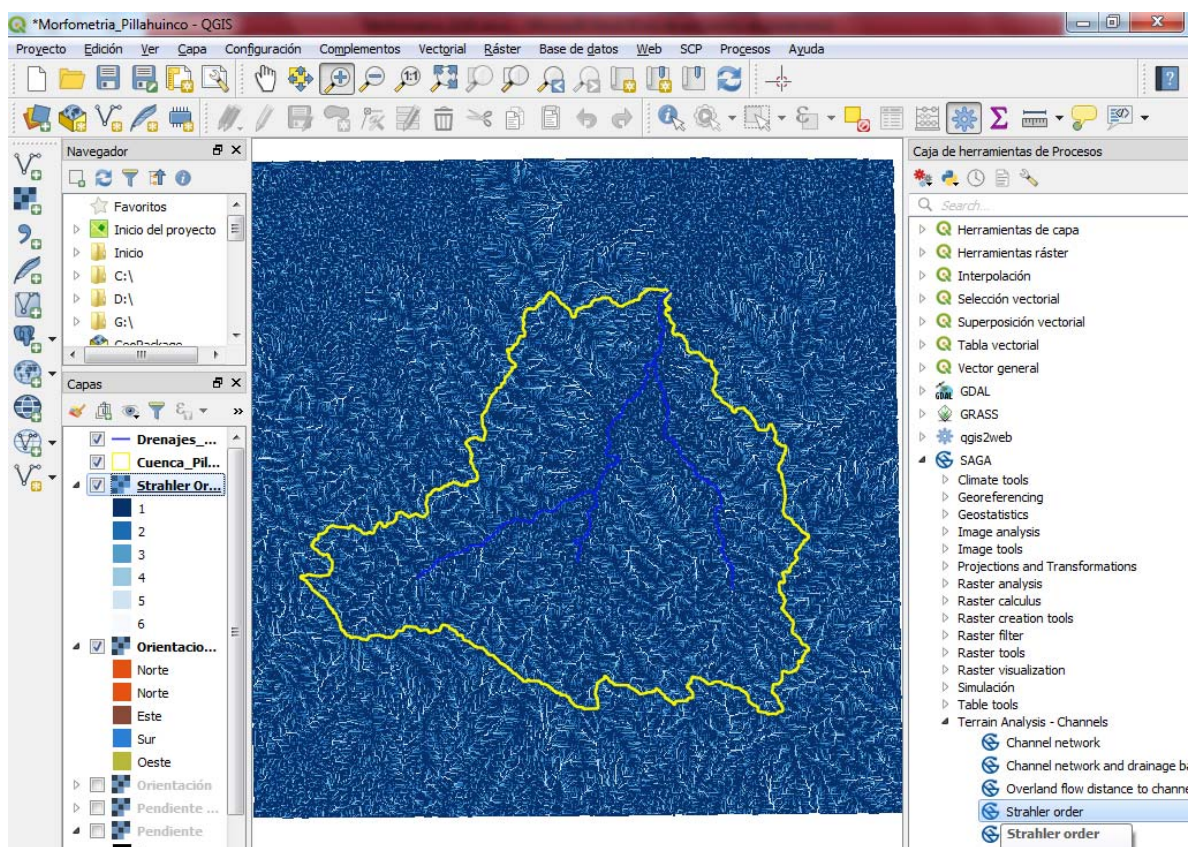


Figura 91.

Longitud de drenaje (Ln)

La longitud de drenaje representa la suma de todas las longitudes pertenecientes a la red de drenaje, desde sus tributarios más pequeños hasta el curso principal. Para fines prácticos, se tendrá en cuenta sólo a los cursos principales de la red, basándose en el orden o jerarquización anteriormente descrito. Esto se realiza mediante una depuración de líneas, quitando los tributarios pequeños y uniendo los segmentos de los drenajes principales, ya que estos al momento de ser generados arrojan varios nodos y segmentos en la estructura de la red. Realizando está la edición manual sobre la capa quedan solo 5 registros o líneas de drenaje.

Utilizando el proceso de cálculo de geometría mencionado en los cálculos del parámetro de Perímetro, se calcula las longitudes de los segmentos. En esta ocasión con la sentencia **\$length** (Figura 92).

Nota: este comando arroja los valores en metros, por lo que hay agregar a la sentencia la división por 1000 en la calculadora de campos, para convertirlos en kilómetros.

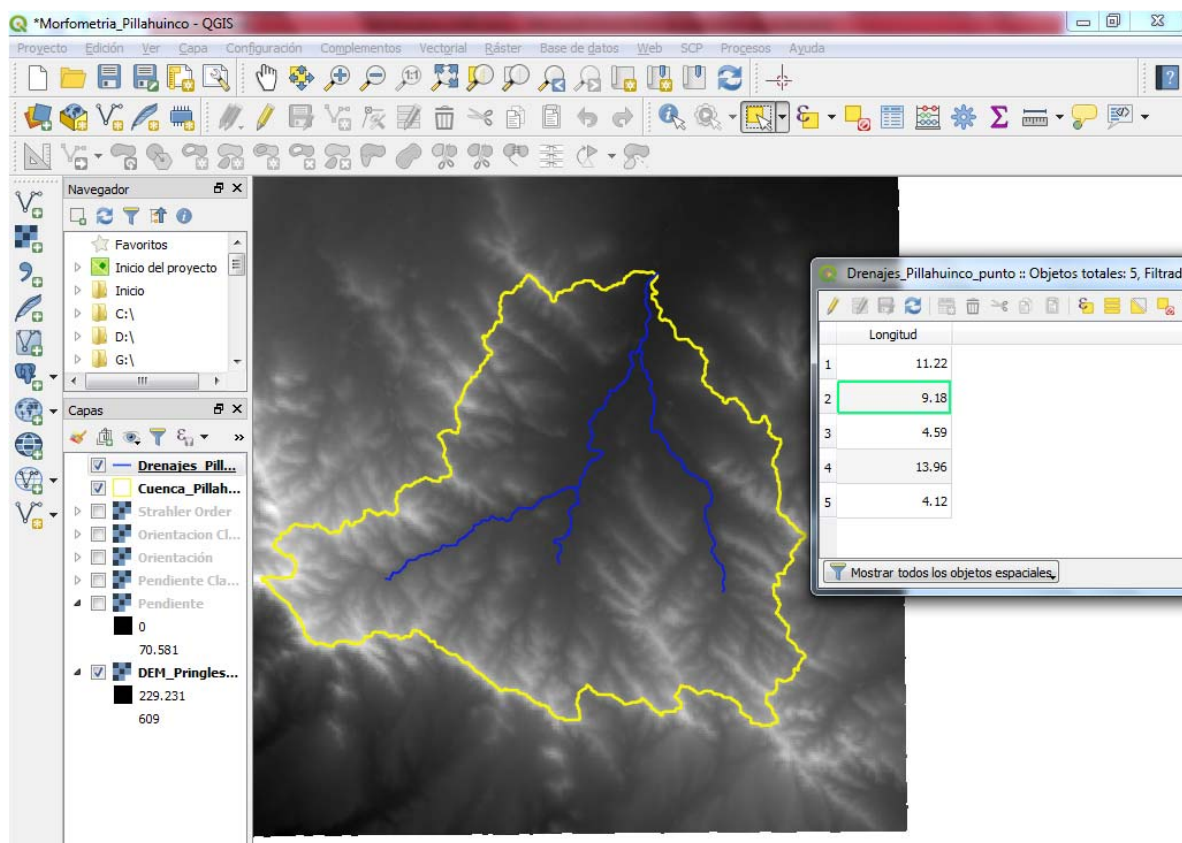



Figura 92.

Teniendo la longitud de cada segmento calculado, lo siguiente es sumar todos los valores para obtener el parámetro morfométrico en cuestión. Es posible sumarlo de varias formas, una de ellas es dirigirse a la barra de herramientas denominada **Atributos** y oprimir el icono , lo cual muestra una ventana en donde se debe seleccionar, en la lista desplegable, la capa a la cual se le hará una estadística descriptiva básica, según un atributo especificado. Para este caso se selecciona la capa de Drenajes Pillahuinco y su atributo a tener en cuenta es el anteriormente calculado en la tabla (Longitud). Esto despliega las estadísticas respectivas, de las cuales una de ellas es la suma (Figura 93).

Nota: Recordar que le campo se calculó en kilómetros.

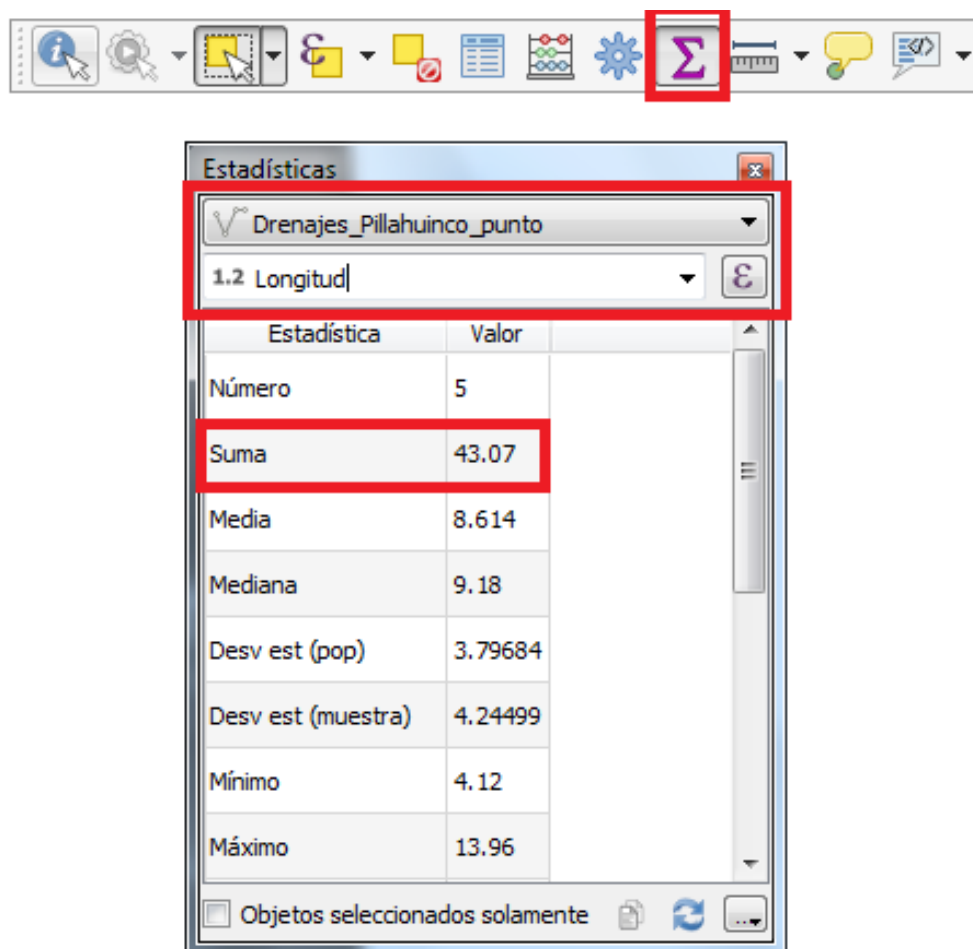


Figura 93.

Longitud del curso principal (L)

Con la capa de drenajes depurada, se deben seleccionar los registros o líneas pertenecientes al drenaje principal. Siguiendo el procedimiento anterior de cálculo de estadísticas, es posible calcular esta información únicamente para los registros seleccionados, pero en esta ocasión hay que marcar la casilla “**objetos seleccionados solamente**” localizada en la parte inferior de la ventana. El resultado de este proceso arroja un valor de 24,52 km para la longitud de drenaje principal (Figura 94).

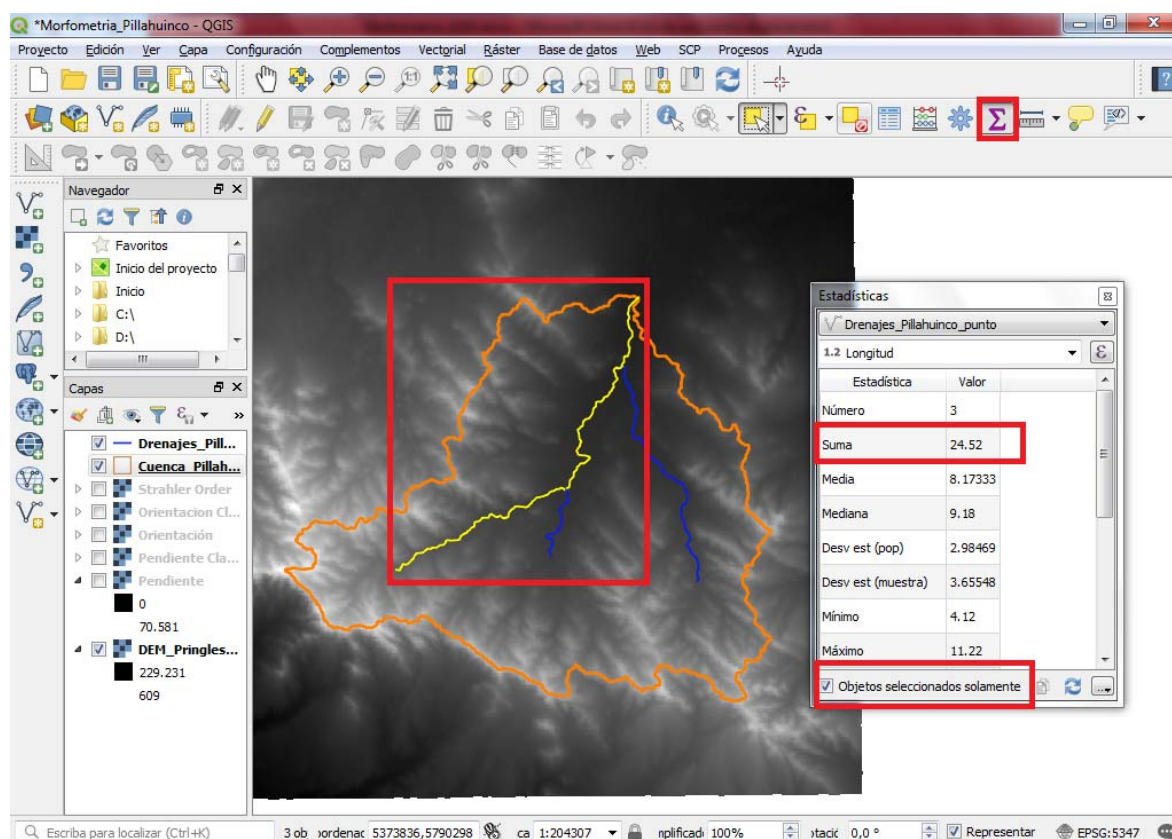



Figura 94.

Desnivel de cauce (DH)

El desnivel del cauce o drenaje principal es posible calcularlo a partir de la definición de las alturas automáticamente, para todos los segmentos de la línea de drenaje. Para el ejemplo, estos valores se calculan manualmente por medio de la barra de herramientas denominada

Atributos, por medio de la opción “**Identificar objetos espaciales**” con el icono . Al oprimir dicho icono se habilita el puntero del ratón para seleccionar objetos espaciales al interior del visor de mapas, en donde se debe dar clic sobre los elementos que se quiera consultar la información. Para este caso se obtendrá dicho dato del DEM. Para ello hay que acercarse lo suficiente a la imagen para localizar el pixel que se encuentra en el nodo inicial, o nacimiento del drenaje principal (en la cabecera de la cuenca), lo cual dando clic sobre este se muestra la información de dicho elemento (Figura 95).

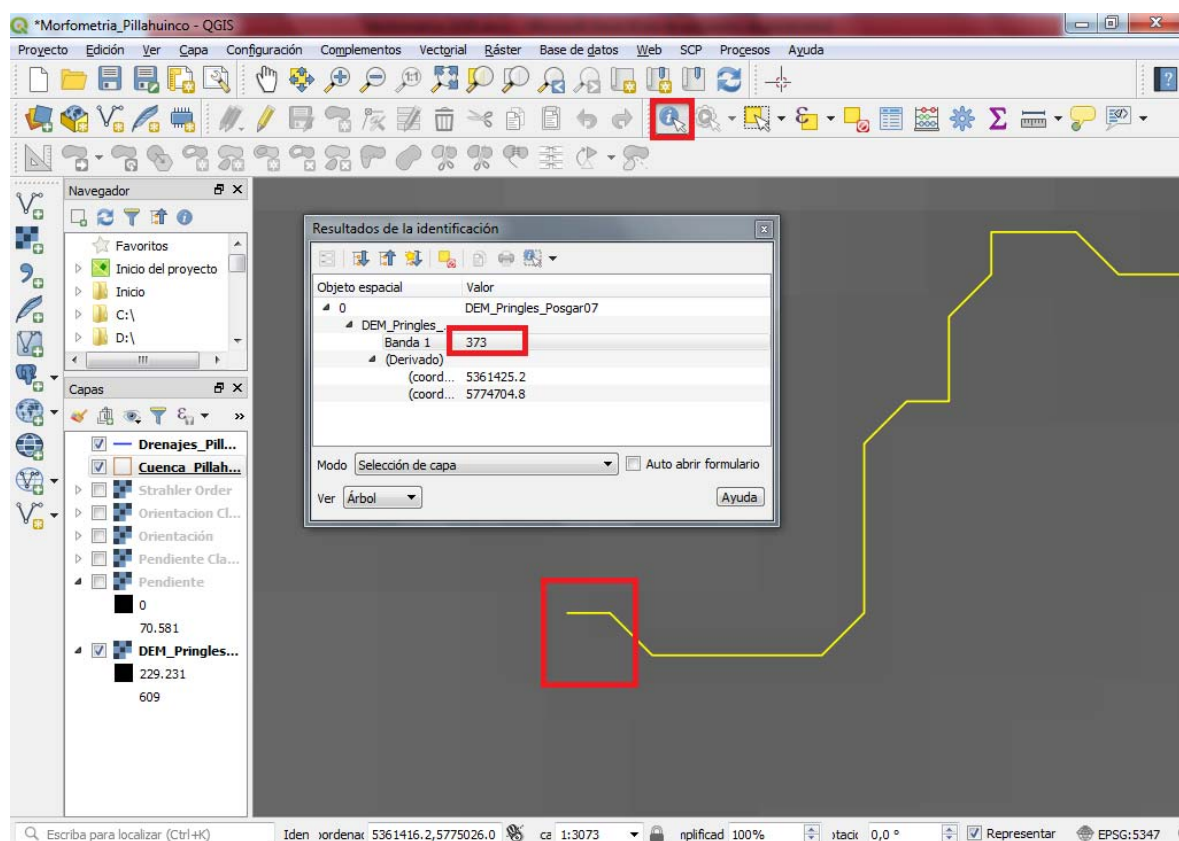


Figura 95.

Para el punto inicial se obtiene un valor de 373 msnm (las unidades son metros ya que proviene del DEM). El mismo proceso se hace para el otro punto, la desembocadura del drenaje, en donde se obtiene un valor de 274 msnm, el cual coincide con el valor mínimo de altura de la cuenca. El desnivel lineal del drenaje consistiría en la resta de los anteriores valores dando como resultado 99 metros.

Referencias

- Arriaga, C.L., V. Aguilar y J.M. Espinoza. (2009). Regiones prioritarias y planeación para la conservación de la biodiversidad, en capital natural de México. CONABIO. 3 (1): 433-457 pp.
- Aumassane, C.M., Gaspari, F.J., Beget, M.E., Sartor, P.D., Oricchio, P. y C.M. Di Bella. (2018). Morfometría de la cuenca alta del río Colorado, Argentina. Boletín geográfico, 40 (1), 13-29.
- Cerignoni, F.J. y V.A. Rodrigues. (2015). Análisis morfométrico de la microcuenca "C" núcleo Cunha, São Paulo, Brasil Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales. 41. 355-366 pp. <http://secforestales.org/publicaciones/index.php/cuadernossecf/index>
- Cherem, L.F.S., Magalhães, A.P. y S.D. Faria. (2011). Análise e compartimentação morfométrica da bacia hidrográfica do alto Rio das Velhas – Região central de Minas Gerais. Revista Brasileira de Geomorfologia, 12, 11-21.

- Delgado, M. I. y F. Gaspari. (2010). Caracterización morfométrica geoespacial. Estudio de caso: Arroyo Belisario, Argentina. *Revista Tecnociencia*. Vol. IV. 3, 154-163. México.
- Domínguez, F.F, A. Gómez y A.F. Gómez. (2003). El análisis morfométrico con sistemas de información geográfica, una herramienta para el manejo de cuencas. Instituto de investigaciones sobre los recursos naturales. Morelia, México.
- Farr, T. G.; Rosen, P. A.; Caro, E.; Crippen, R.; Duren, R.; Hensley, S.; Kobrick, M.; Paller, M.; Rodriguez, E.; Roth, L.; Seal, D.; Shaffer, S.; Shimada, J.; Umland, J.; Werner, M.; Oskin, M.; Burbank, D. & D.Alsdorf. (2007). The Shuttle Radar Topography Mission", *Geophysics*, 45, 21- 22.
- Gaspari F.J. y E.E.Kruse. (2011). Características del comportamiento hidrológico en áreas de llanuras basado en el análisis morfométrico. Caso de estudio: Arroyo del Tala. Provincia de Buenos Aires. *Revista de Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente*. ASAGAI. Vol 27. 43-48 pp.
- Gaspari, F. J., Senisterra, G.E., Delgado, M.I., Rodríguez Vagaría, A. y S. Besteiro. (2009). Manual de Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas. Ed. Autores. La Plata, Argentina. 321p.
- Gaspari, F.J.; Rodríguez Vagaría, A.M.; Senisterra, G.E.; Denegri G.A.; Delgado, M.I. y S.I.. Besteiro. (2012). Caracterización morfométrica de la cuenca alta del Río Sauce Grande. *Revista AUGMDOMUS*. Revista Electrónica del Comité de Medio Ambiente de AUGM. Asociación de Universidades del Grupo Montevideo. La Plata. Argentina. Vol 4: 143-158. Disponible en <http://revistas.unlp.edu.ar/domus/article/view/476/505>.
- Gaspari, FJ; Senisterra,G; Delgado, MI; Rodríguez Vagaría, A. y S Besteiro. (2013). Elementos metodológicos para el Manejo de Cuencas Hidrográficas. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata. 188 p. ISBN 978-950-34-0963-3. Actualización constante on line SEDICI.
- López Cadenas de Llano, F. (1998). Restauración hidrológica forestal y control de la erosión. Ingeniería ambiental. Tragsa-Tragsatec, Ministerio del Medio Ambiente, Ediciones Mundiprensa, Madrid, España. 945 pp.
- Matter, M.A., L.A. García, D. A. Fontane & B. Bledsoe. (2009). Characterizing hydroclimatic variability in tributaries of the Upper Colorado River Basin. *Journal of Hydrology*. 380 (3): 260-276 pp.
- Salas-Aguilar V.M., Pinedo-Álvarez C., Viramontes-Olivas O.A., Báez-González A.D.y R.M. Quintana Martínez. (2011). Morfometría de la cuenca del río Nazas-Rodeo en Durango, México, aplicando tecnología geoespacial. *Revista Tecnociencia*. Vol. V, No. 1. 34 – 42pp.
- Senisterra, G., Rodríguez Vagaría, A., Gaspari, F. y G.Mazzucchelli. (2014). Aspectos morfométricos de la cuenca alta del Arroyo Napaleofú. Provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista Geográfica Venezolana*, Vol. 55 (2) 287-303. Mérida. Venezuela. Disponible en <http://www.saber.ula.ve/handle/123456789/39614>
- TRAGSA. (1994). Restauración hidrológico forestal de las cuencas y control de erosión. Mundiprensa. Madrid, España: 901 p.

CAPÍTULO 4

Zonificación del escurrimiento superficial

Definición y procesamientos de variables para definir el escurrimiento superficial

Un modelo hidrológico que permite transformar la precipitación total en precipitación efectiva (escurrimiento superficial) es el método del número de curva (NC). La estructura y textura del suelo y la cobertura vegetal junto a los registros pluviográficos, conforman los datos básicos para el análisis hidrológico espacio-temporal, en pequeñas cuencas hidrográficas (Kent, 1968).

El método del NC constituye una herramienta que permite realizar estudios hidrológicos en cuencas hidrográficas cuando hay una deficiencia de registros extensos y confiables, además, fácilmente incorporable a una base de datos georreferenciados. El uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) constituye una valiosa herramienta para la modelización hidrológica, permitiendo realizar operaciones de manera automática (Gaspari et al., 2011).

El método NC, desarrollado por el Soil Conservation Service (SCS) de Estados Unidos, se basa en la estimación directa del escurrimiento superficial de una lluvia aislada a partir de características del suelo, uso del mismo y de su cobertura vegetal (SCS, 1964; Mintegui Aguirre y López Unzu, 1990; López Cadenas del Llano, 1998).

El método expresa el escurrimiento directo (P_e) en respuesta ante una precipitación (P). Este modelo asume que un complejo suelo-vegetación y condición de humedad antecedente (humedad media del suelo) homogénea en la cuenca, se comporta de manera similar frente a una tormenta (P). A menor NC, menor es el escurrimiento.

Según lo expresado por Kent (1968) el NC estima la abstracción inicial (I_o) de la precipitación, considerada como el 20 % de la máxima retención potencial (S) de cada complejo suelo - vegetación. S se constituye como $254 \times ((100 \times (NC)^{-1}) - 1)$. El exceso de precipitación o escurrimiento superficial (P_e), en función de la precipitación acumulada (P), se establece con:

$$P_e = (P - I_o)^2 \times (P - I_o + S)^{-1}.$$

Este método determina que el exceso de precipitación (P_e) es nulo hasta el momento en que la lluvia exceda la abstracción inicial (I_o) (Gaspari et al., 2016).

La determinación del NC, se inicia con la definición y zonificación del Grupo Hidrológico (GH) a nivel de cuenca hidrográfica, el cual expresa las características geológicas y edáficas, zonificando suelos según textura, permeabilidad y escurrimiento. El GH se clasifica según: A) mínimo potencial de escurrimiento, con suelos profundos, con predominio de arena y grava; B) suelos mayoritariamente arenosos; C) manifiesta textura franco-arcillosa; D) suelos predominantemente arcillosos, con máximo potencial de escurrimiento. Teniendo en cuenta la definición del GH, y conociendo el tipo de cobertura vegetal y/o el uso del suelo presente en la cuenca, se debe establecer una condición de humedad antecedente para dicho estudio, es decir el estado de humedad del suelo previo a la precipitación. La misma se define por tres condiciones básicas, considerando el contenido de humedad del suelo, determinadas en base a una lluvia dentro de los 5 a 10 días previos, denominada seca (I) si es menor a 12,7 mm, media (II) si la precipitación fue entre 12,7 – 38,1 mm y húmeda (III), con valores mayores a 38,1 mm media (II).

El procesamiento geoespacial con SIG de esta metodología de determinación de Pe, se realiza por una tabulación cruzada de la cartografía de cada una de las dos variables que la integran (GH y cobertura vegetal) y por aplicando un Modelo Algebraico Cartográfico que soluciona la ecuación de Pe (Gaspari et al, 2016).

Manipulación de capas temáticas para la obtención la zonificación del número de curva

El objetivo del presente capítulo es obtener un mapa que represente el número de curva (NC) para diferentes zonas de una cuenca hidrográfica. Posteriormente, se realizará un procesamiento cartográfico que exprese el potencial erosivo cualitativo, basado en la relación de que, a mayores números de curva y mayores pendientes, éste será mayor.

Para ello se operará a través de capas vectoriales y sus bases de datos en QGIS 3.X.

Se debe resaltar que, si bien el objetivo de las bases de datos es asignar diferentes características a un mismo elemento, en este caso, para simplificar el proceso de operación de las variables, procederemos a usar bases de datos pequeñas, reduciendo las generadas durante los procesos. Además, al trabajar con bases de datos pequeñas, procederemos a modificarlas en la mayoría de los casos de manera directa, sin hacer usos de algoritmos que vienen destinados a simplificar el procesamiento de bases de datos complejas.

El propósito del presente apartado es introducir al entorno SIG al lector. A medida que éste vaya adquiriendo práctica, podrá manipular bases de datos complejas y procesar la cartografía con los algoritmos destinados a tal fin. El desarrollo para cumplir los objetivos antes planteados se basan en el diagrama de la Figura 96.

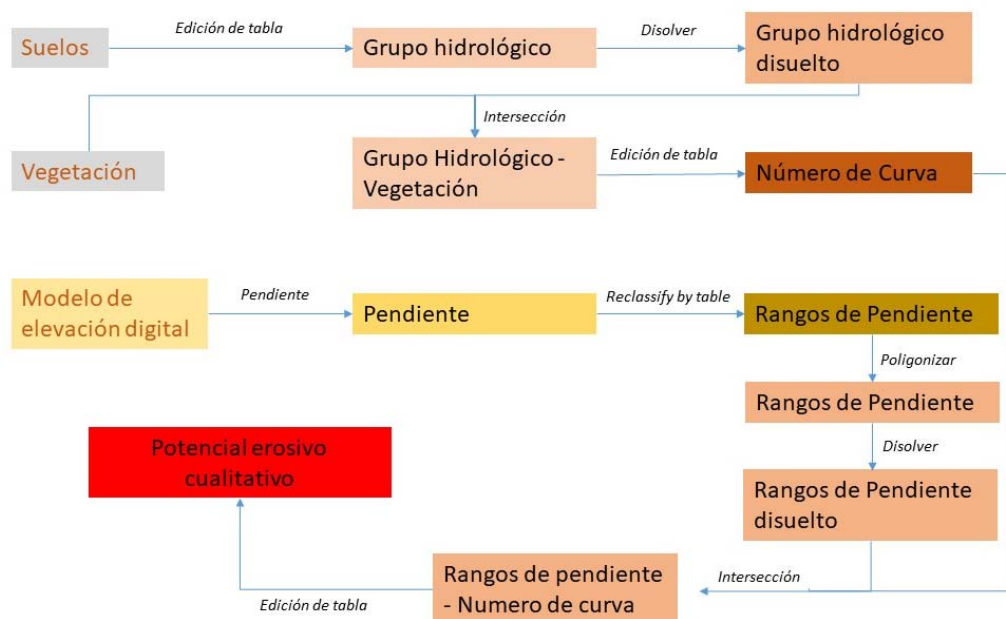


Figura 96. Diagrama de procesos para la determinación cualitativa del potencial erosivo.

Asignación de Grupos hidrológicos



Para definir los GH en el mapa, se parte del mapa de suelos. En este ejemplo, la base de datos está constituida por una columna que representa el símbolo correspondiente a los complejos presentes en escala 1:50.000. Según las características de las series que componen cada una, se definió el grupo hidrológico que le corresponde obteniendo la Tabla 2.

Tabla 2. Grupo hidrológico según complejo de suelo.

Símbolo	GH
AoPoG	B
EG2	B
PH2	C
PH5	C
R	C
R1	C
RG1	C
TA10	B
TA12	B
TA59	B
TA6	B

El siguiente paso es asociar el GH que corresponde a cada complejo de suelos según Tabla 2, en la base de datos. Esto puede realizarse añadiendo una columna a la base de datos e

incorporando cada letra de GH, o a través del algoritmo unión utilizando un campo en común. Como se mencionó anteriormente, lo realizaremos de la primera forma.

Abra la tabla de atributos, luego colóquela en modo edición con el ícono **Conmutar el modo edición** , y añada una nueva columna a través de ícono **Nuevo Campo** . A continuación, coloque un nombre al mismo, el tipo de valor que contendrá, en este caso será “texto” y la longitud de los caracteres (Figura 97). Al aceptar, el campo se añadirá a la base de datos.

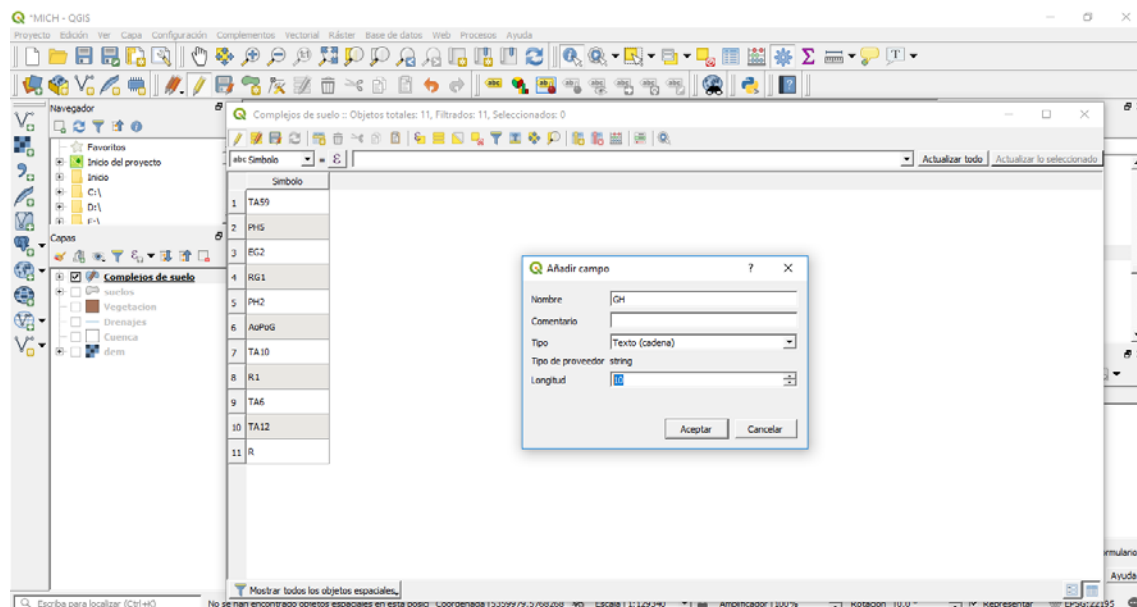


Figura 97. Edición y creación de un nuevo campo en la tabla de atributos.

Para completar los atributos tipeé el GH que corresponde a cada símbolo según la Tabla 2 (Figura 98). Una vez completa quite el modo edición y acepte los cambios.

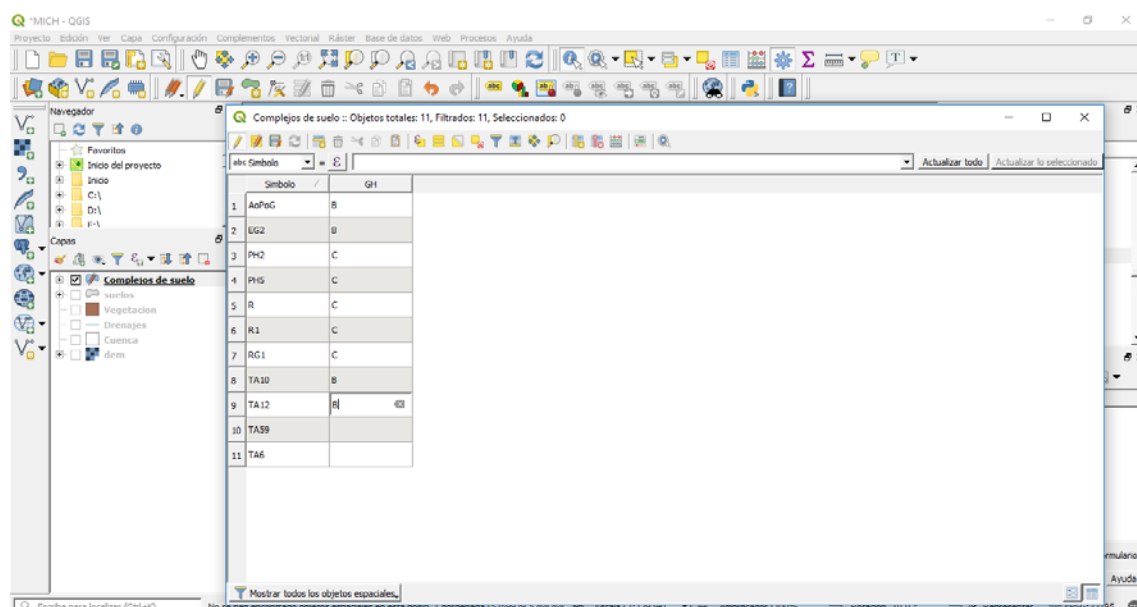


Figura 98. Asignación de GH a complejos de suelo.

Si observamos el nuevo mapa categorizado según GH (Figura 99), veremos que los límites de cada polígono corresponden al mapa de complejos de suelo. Esto se debe a que varios complejos de suelo comparten igual características de GH.

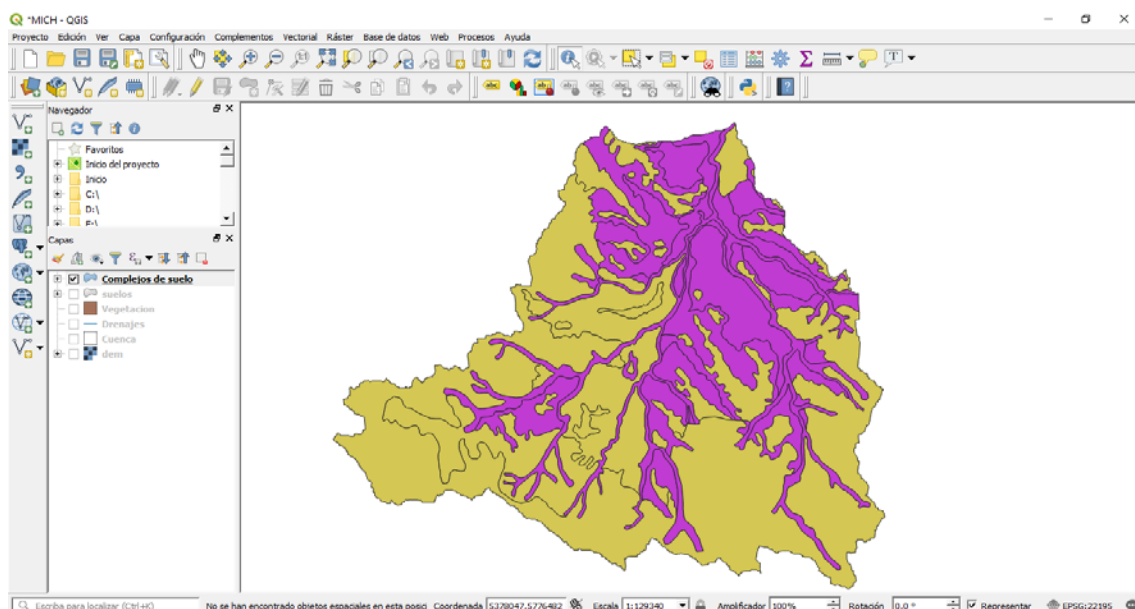


Figura 99. Mapa de Grupos hidrológicos.

Si bien la base de datos es sencilla, a medida que realicemos operaciones entre capas, se irá tornando más compleja. Por el momento no nos interesa tener diferentes características para cada elemento, por lo que procederemos a simplificar la base de datos con el fin de que represente solamente los GH en la cuenca.

La simplificación se realiza con el comando **Disolver**, ubicado en la Barra de Menú / Vectorial / Herramientas de Geoproceso. En “Capa de entrada” se selecciona el archivo a disolver, en Campos ID únicos tildamos el/los campo/s que se usarán para disolver, estos corresponden a los campos que contienen los atributos que permanecerán en la nueva capa y cuyos límites se fusionarán en caso de polígonos adyacentes con igual característica. Coloque un nombre de salida en el campo Disuelto (Figura 100). Posteriormente acepte y ejecute en segundo plano.

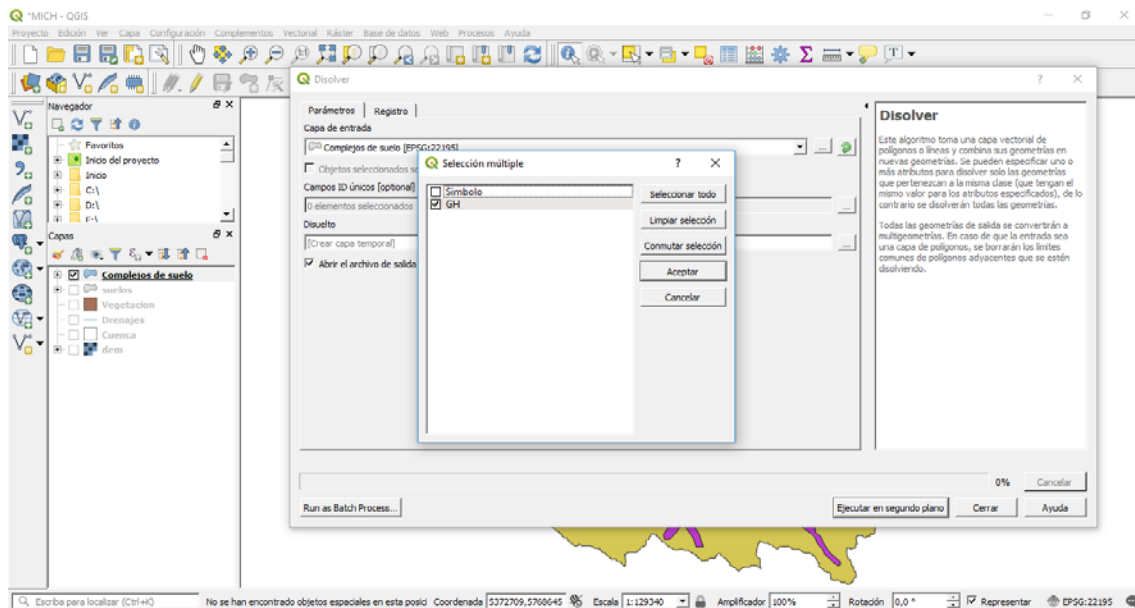



Figura 100. Disolver elementos con mismos atributos en uno o mas campos.

El resultado es un nuevo archivo que por defecto tomará el nombre Disuelto. Para finalizar el proceso de limpieza de la base de datos, abra la tabla de atributos, ejecute el modo edición y elimine los campos / columna que no fueron seleccionados en el proceso de disolución, con la herramienta **Eliminar campo** . El resultado es una capa de GH de la cuenca (Figura 101).

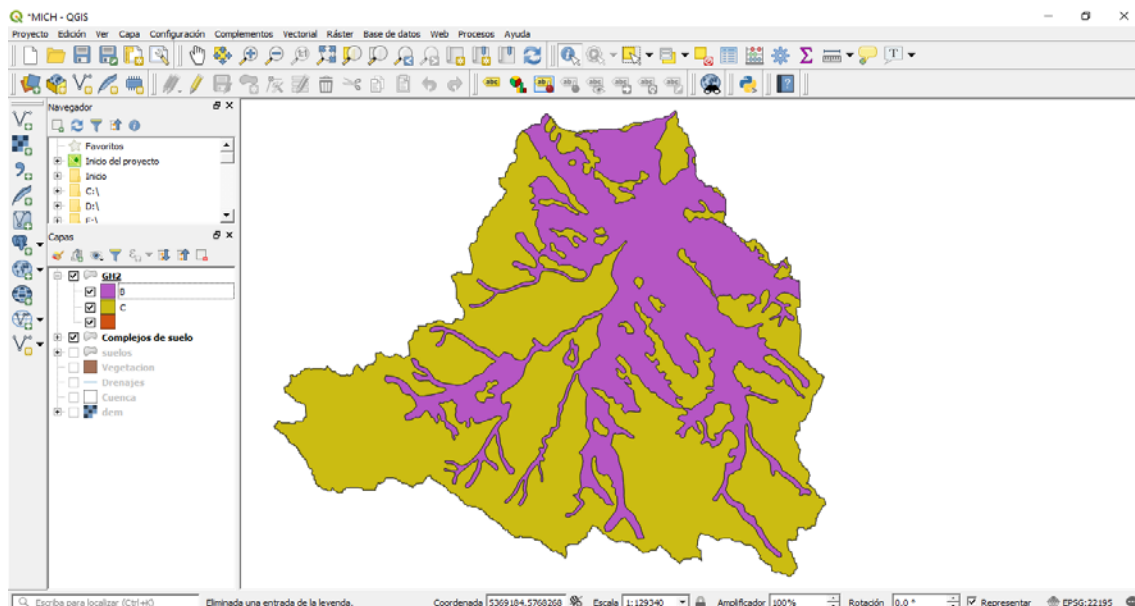


Figura 101.

Asignación de Números de Curva

Como se mencionó anteriormente, el Número de Curva corresponde a una asociación entre la cobertura vegetal y el Grupo hidrológico. Para obtener una capa que contenga dicha asociación deben interceptarse los polígonos de las capas mencionadas. Para ello utilice el comando **Intersección** ubicado en Barra de Menú / Vectorial / Herramientas de Geoproceso, se desplegará un cuadro donde deberá ingresar las capas a interceptarse (Figura 102). Posteriormente ejecute en segundo plano para obtener el mapa intersectado.

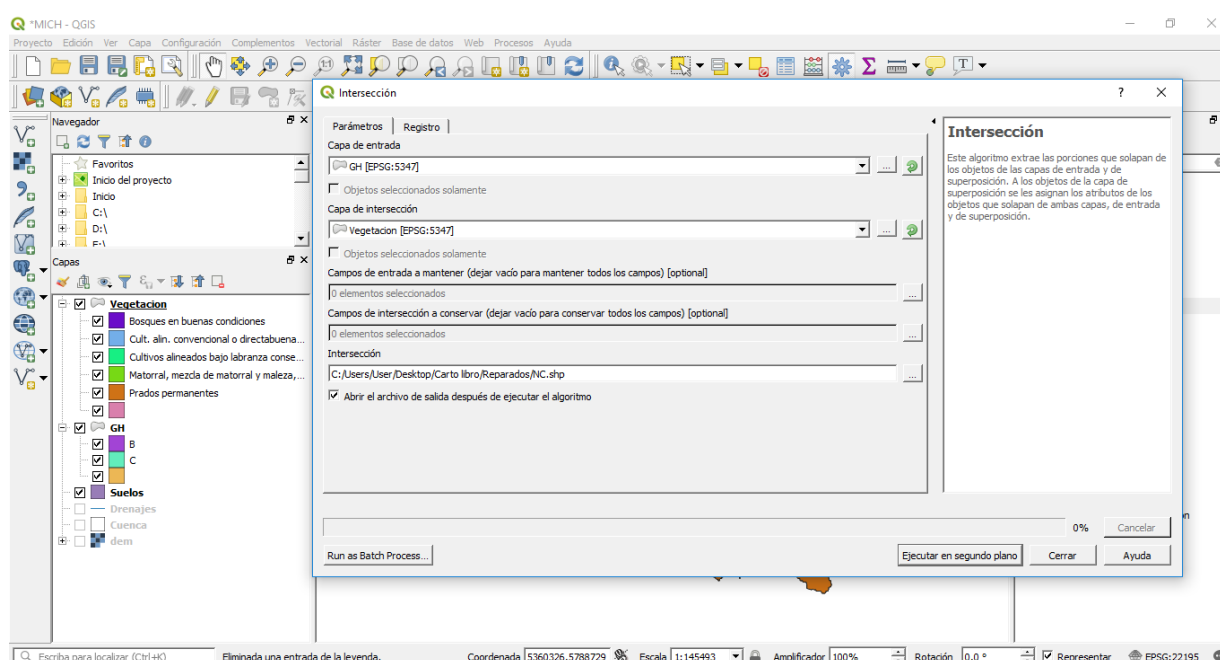


Figura 102. Intersección de capas vectoriales.

Para asignar los valores de número de curva a ese mapa intersectado, abra la tabla de atributos, colóquela en modo edición, añada una columna de tipo numérico entero y a continuación escriba el valor de número de curva para cada combinación GH-Vegetación.

Una vez guardada la edición obtendrá una capa con una base de datos compuesta por GH, Tipo de vegetación y el NC correspondiente a cada asociación (Figura 103).

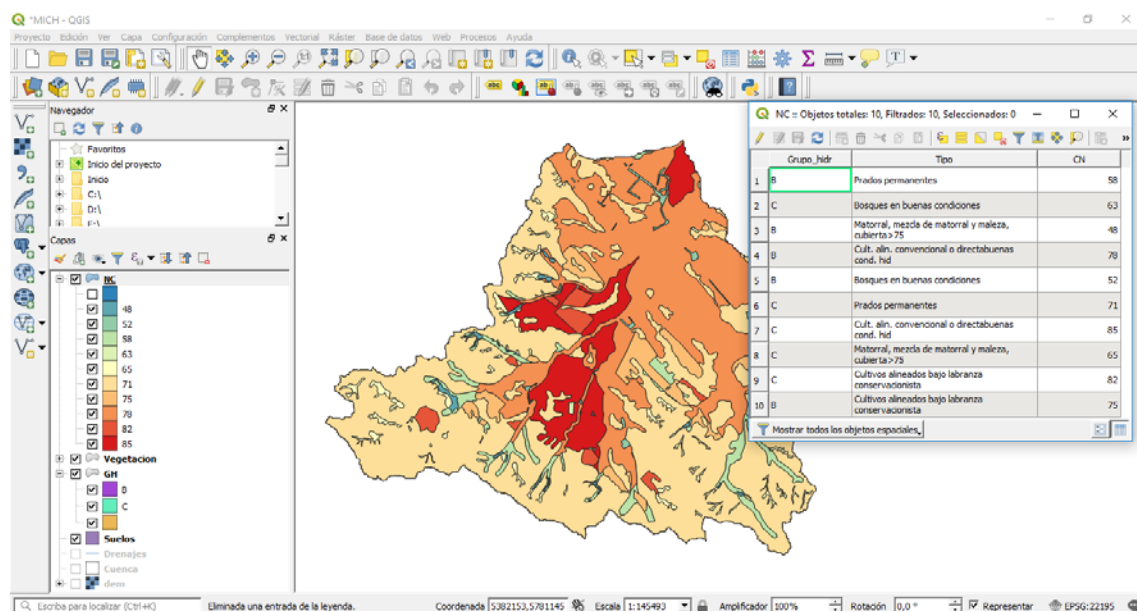


Figura 103. Número de curva y base de datos asociada.

Determinación del potencial de erosión cualitativa

El potencial de erosión cualitativo se basa en las características de pendiente del terreno y la capacidad de generar escurrimiento, indicada a través del NC, donde para cada combinación se asigna un potencial de erosión basado en la Tabla 3.

Tabla 3. Potencial de erosión cualitativo según pendiente y número de curva.

		Rangos de NC			
		<60	60-70	70- 80	>80
Pendiente (%)	< 3	MB	MB	MB	B
	3-12	MB	MB	B	M
	12-18	MB	B	M	A
	18-24	B	M	A	MA
	24-30	M	A	A	MA
	>30	A	MA	MA	MA

Referencias: **MB**: Muy Bajo; **B**: Bajo; **M**: Medio; **A**: Alto; **MA**: Muy alto

La primera instancia ya fue determinada, el siguiente paso es determinar un mapa de pendientes para luego obtener uno de rangos de pendiente y un mapa de rangos de NC, según las clases especificadas en la Tabla 3.

Obtención de pendientes

A partir del modelo de elevación digital se obtendrá un mapa de pendientes expresados en porcentaje. Para ello cargue el archivo raster DEM al proyecto. A continuación, utilice el comando **Pendiente** ubicado en Barra de Menú / Raster / Análisis. En el cuadro complete la Capa de entrada con el archivo DEM, y la “relación de unidades verticales a horizontales”, siendo en este caso su valor igual a 1, ya que ambas medidas están expresadas en metros. Recuerde tildar el casillero “Pendiente expresada en porcentaje en vez de grados”. Coloque el nombre de salida en la solapa “Pendiente” y ejecute el proceso (Figura 104).

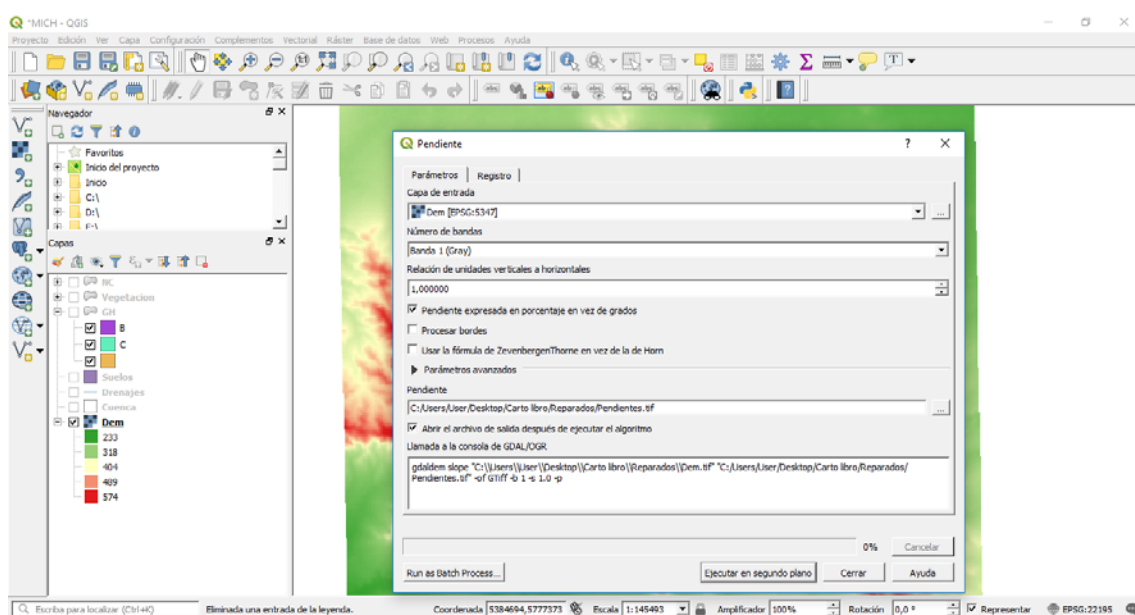



Figura 104. Obtención del mapa de pendientes.

Reclasificación de archivos raster

Una vez obtenido el mapa de pendientes, se deben agrupar los valores de pendientes según los rangos establecidos en la Tabla 3. Para ello desde la barra de Menú, despliegue la solapa Ver / Paneles / Caja de herramientas de procesos; en el buscador de herramientas del mismo busque el comando **Reclassify by table**. Coloque como capa de entrada el archivo de pendientes generado anteriormente, haga clic en  del cuadro “Reclassification table”, se desplegará una tabla donde colocara los rangos de clasificación y un nuevo valor que se le asignará a dicho rango (Figura 105). El proceso utiliza intervalos abiertos por izquierda, por lo cual deberá colocar en el mínimo de la primera clase el valor de -1 y un valor superior al máximo del archivo de entrada en la columna máximo de la última clase.

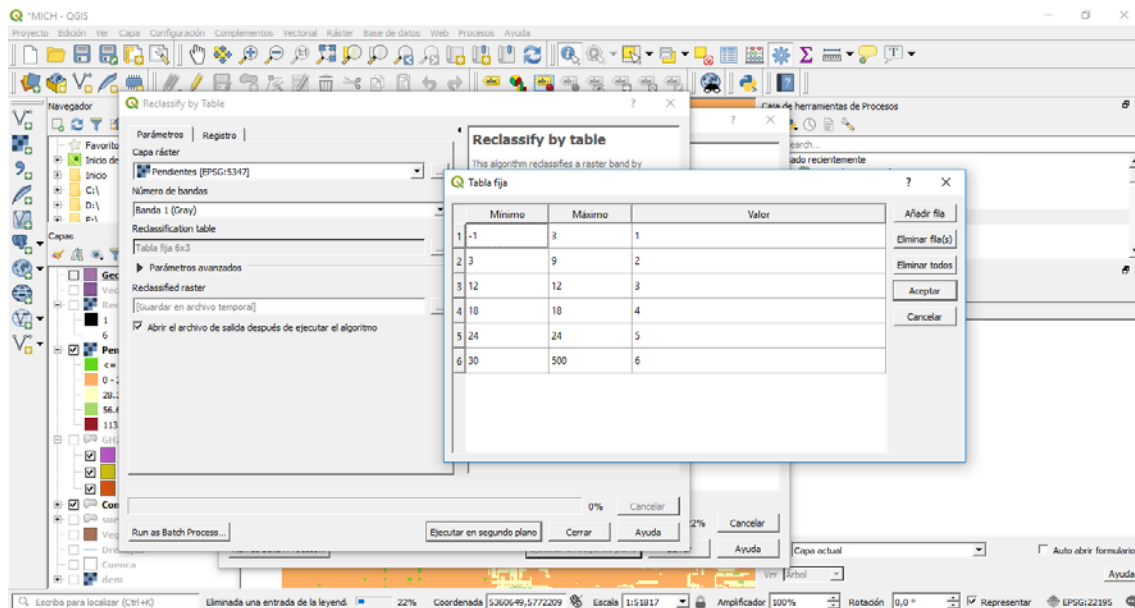


Figura 105. Reclasificación de pendiente en rangos.

Vectorización de archivos

Hasta aquí, se tiene una capa de rangos de pendiente en formato raster. Para poder continuar con el proceso se debe compatibilizar el formato de esta capa con la de NC, ya sea ambas en formato raster o en formato vectorial. Procederemos entonces a vectorizar la capa raster de Rangos de pendientes.

Seleccione el comando **Poligonizar** ubicado en Barra de Menú / Raster / Conversión. En la capa de entrada coloque el archivo rangos de pendiente, un nombre al campo a crear y un nombre al archivo de salida, luego ejecute el proceso (Figura 106).

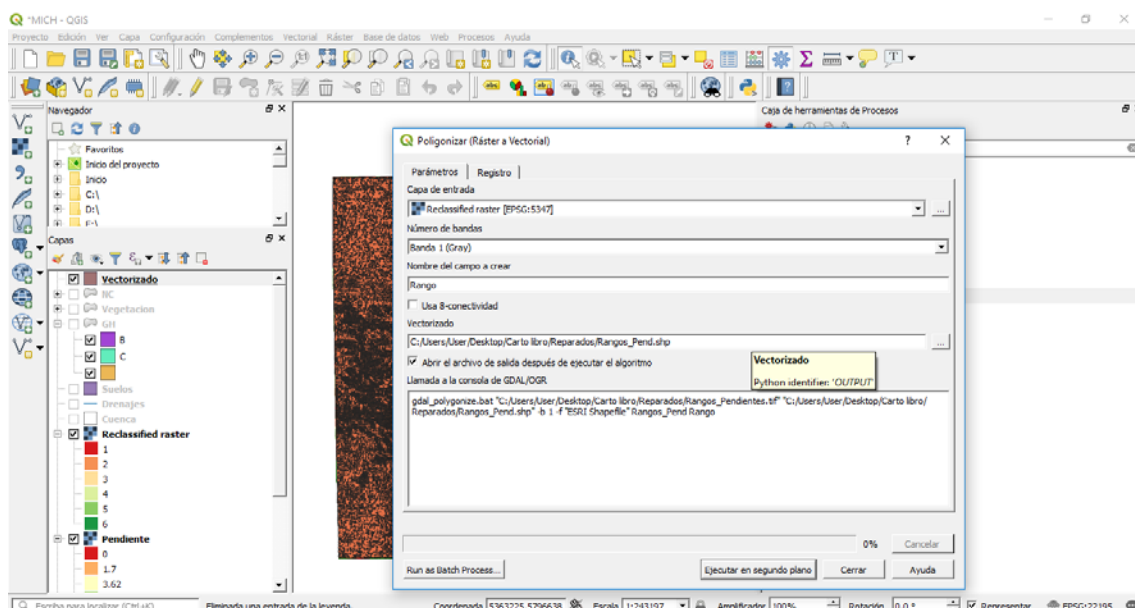


Figura 106. Vectorización de archivos raster.

Para que los procesos se realicen en forma más rápida es conveniente trabajar sólo con el área de interés, para ello se procederá a recortar el mapa de pendientes obtenido con la herramienta **Cortar raster por capa de máscara** ubicada en Barra de Menú / Raster / Extracción.

Nota: recuerde siempre trabajar con idénticos sistemas de coordenadas y con máscaras que contengan el menor número de elementos en la base de datos, en este caso se usará como máscara el archivo Cuenca, ya que está constituido por un solo polígono.

A pesar que solamente existen 6 clases, la base de datos posee una cantidad de registros grande, esto se debe a que solamente se agruparon los pixeles aledaños que integraban el mismo rango. Para obtener un mapa con 6 registros correspondientes a las 6 clases, utilice el comando **Disolver**. Si el proceso diera error de geometría, se debe al proceso de vectorización. Para solucionar dicho error, busque en la Caja de herramientas de procesos el comando **Corregir Geometrías**, cargue el archivo a corregir, coloque un nombre al archivo corregido y ejecute el proceso. Posteriormente, ejecute el proceso disolver al archivo corregido.

Generación del mapa de Rangos de Número de curva

El proceso para obtener el mapa con los rangos de Número de curva, se basa en la adición de un campo que contenga la clase a la cual pertenece el número de curva en la base de datos. En este caso al ser una base de datos sencilla, lo haremos de manera manual. Para ello, coloque en edición el archivo de NC, agregue un campo, nómbrelo y especifique sus características de tipo y longitud de caracteres. A continuación, enumere de 1 a 4 según las categorías de la Tabla 3 y guarde los cambios (Figura 107). Para obtener una base de datos sencilla utilice el comando **Disolver** tomando la columna de las clases de NC y posteriormente elimine las columnas residuales.

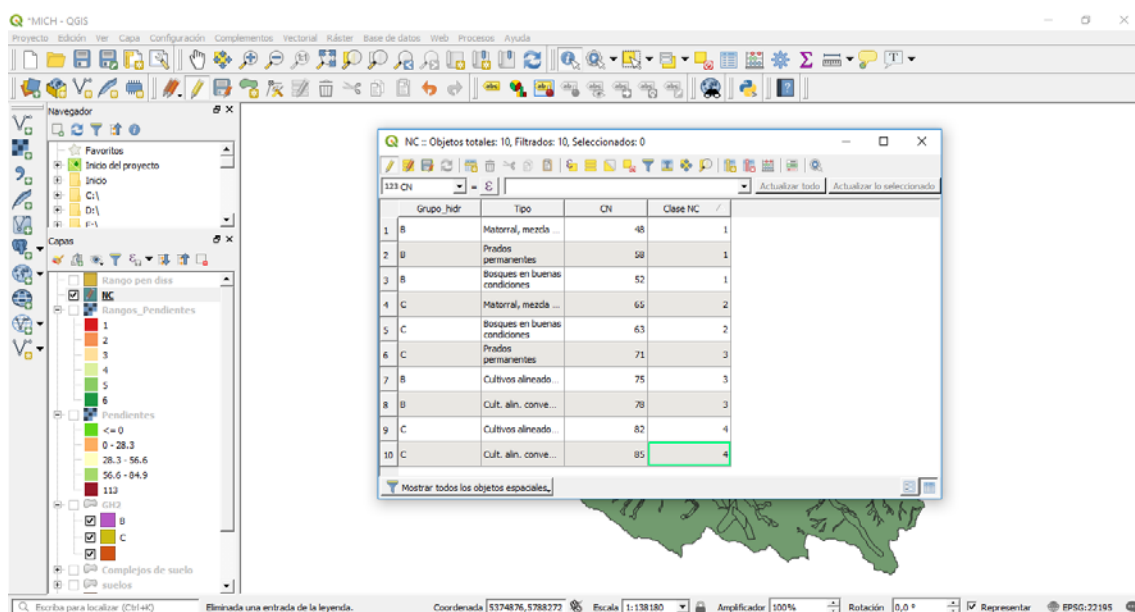


Figura 107. Asignación de categorías según rangos de Número de curva.

Obtención del mapa de erosión potencial cualitativa

El último paso será la realizar una serie de procesamientos para obtener el mapa de erosión potencial cualitativa (Figura 108). Como se describió en la Tabla 3, este mapa corresponde al cruzamiento de los rangos de pendiente con los rangos de número de curva, utilizando el comando **Intersección**.

Para obtener una base de datos sencilla utilice el comando **Disolver** tomando las columnas Rangos de Pendiente y Rangos de número de curva.

Una vez simplificada la base de datos, se asignarán las categorías correspondientes al potencial de erosión a través de la **edición** de la tabla de atributos. Como último paso se sugiere **Disolver** la tabla para lograr una tabla simple con las 5 categorías presentes en la Tabla 3.

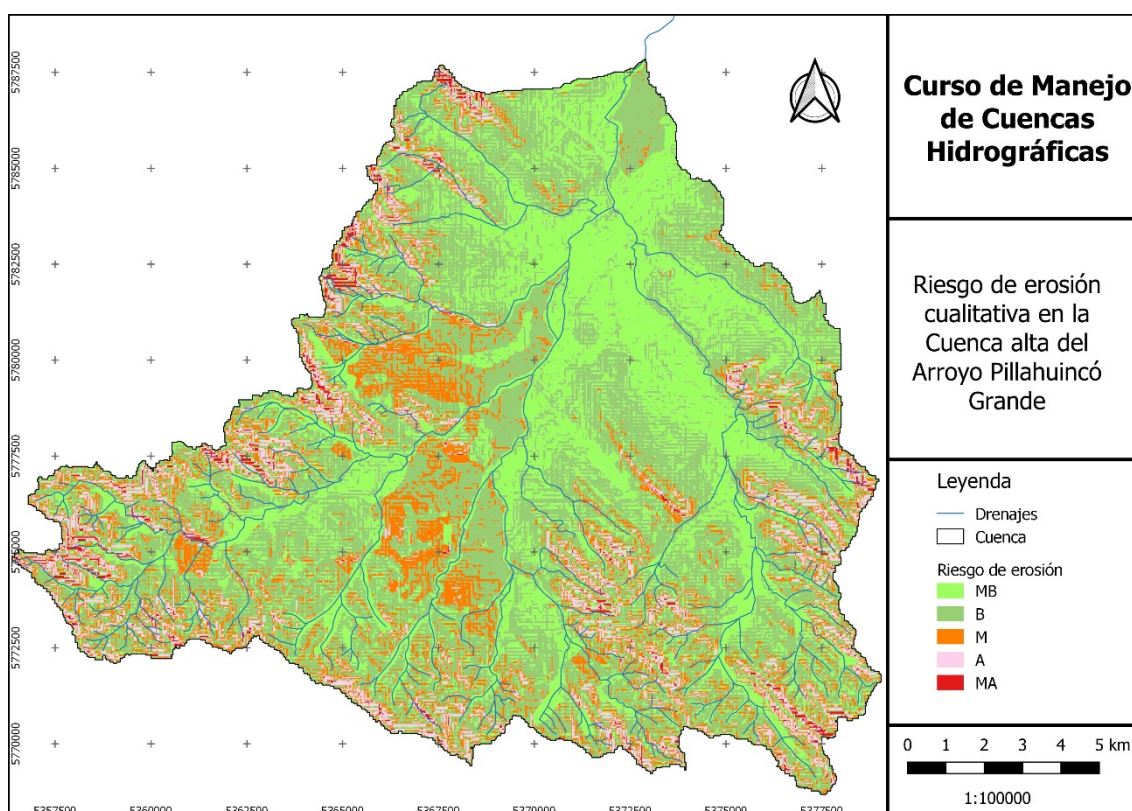


Figura 108. Riesgo de Erosión potencial Cualitativa.

Referencias

Gaspari, F., Senisterra, G., Delgado, MI, Denegrí, G.A.; Rodríguez Vagaría, A. y R. Díaz Gómez. (2016). Valoración de servicios ambientales para el ordenamiento agrohidrológico en cuencas hidrográficas. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata. 137 p. La Plata. Ar-

gentina. SEDICI. ISBN 978-950-34-1324-1. Versión digital. Disponible en <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/52722>

- Gaspari, F.J.; Senisterra, G.E.; Rodríguez Vagaría, A.; Delgado, M.I. y S. Besteiro. (2011). Simulación espacio – temporal del escurrimiento directo en la cuenca del Arroyo Pillahuinco Grande. Revista de Asociación Argentina de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente. ASAGAI. Vol 27. ISSN 1851-7838.
- López Cadenas de Llano, F. (1998). Restauración hidrológico forestal de cuencas y control de la erosión. Ed. TRAGSA. Madrid. España. 945 pp.
- Mintegui Aguirre, J. A. y F. López Unzu. (1990). La Ordenación Agrohídrológica en la Planificación. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco. 308 pp. Madrid.
- Soil Conservation Service (SCS). (1964). Hydrology. Part I. Watershed Planning. S.C.S. National Engineering Handbook. Section 4. U.S. Department of Agriculture. Washington. 33 pp.

CAPÍTULO 5

Cuantificación de la pérdida de suelo por erosión hídrica superficial

Definición de las variables de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE).

La cuantificación del escurrimiento superficial es importante en los procesos de erosión hídrica superficial de los suelos, la cual genera fragilidad en los sistemas ambientales. La degradación del suelo por erosión es un proceso inducido por el hombre que disminuye la capacidad actual y futura de este recurso para sostener la vida humana (Gaspari, 2016).

El estudio de la potencialidad erosiva adquiere especial importancia en el diagnóstico en cuencas hidrográficas, debido a las notables pérdidas de suelo que producen las prácticas culturales agrícola-ganaderas.

La expresión matemática reconocida mundialmente, que expresa la cuantificación de la pérdida de suelo por erosión hídrica superficial fue generada por Wischmeier y Smith (1978), en el Servicio de Conservación de Estados Unidos, la cual se denomina Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, representada por la sigla USLE ($\text{Mg.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$). La misma está representada por el producto de los siguientes factores:

- **R** índice de erosión pluvial o factor de erosionabilidad de los aguaceros: se define como el producto de la energía cinética de un aguacero por su máxima intensidad en 30 minutos. Expresa la fuerza erosiva de una determinada lluvia y representa su potencial para erosionar superficialmente el suelo ($\text{J.cm. m}^{-2}.\text{h}^{-1}$).
- **K** erodabilidad del suelo: es un indicador cuantitativo de la aptitud o resistencia del suelo a la erosión ($\text{Mg.m}^2 .\text{h.ha}^{-1}.\text{J}^{-1}.\text{cm}^{-1}$). Refleja la acción combinada de distintas propiedades como la permeabilidad, contenido de materia orgánica, textura y estructura.
- **L** longitud de pendiente: se define como la relación entre la pérdida de suelo para una longitud determinada y la pérdida para una longitud de 22,1 metros del mismo tipo de suelo. La longitud se define como la distancia desde el origen de la escorrentía superficial hasta el inicio del depósito de sedimentos, o que la escorrentía se concentre en un cauce. Adimensional.
- **S** gradiente de pendiente: es la relación entre las pérdidas para una pendiente determinada y las pérdidas para una pendiente del 9%, del mismo tipo de suelo. Adimensional.

- **C** cultivo y ordenación: expresa la relación entre las pérdidas de suelo en un terreno cultivado o con vegetación en condiciones específicas y las pérdidas correspondientes a una parcela, en idénticas condiciones de lluvia, suelo y topografía, pero sometida a barbecho continuo. Adimensional.
- **P** prácticas de conservación del suelo: es el factor de control de la erosión mediante prácticas de cultivo y abarca la relación entre las pérdidas de suelo para diferentes labores conservacionistas, y las correspondientes a un cultivo en surcos según la máxima pendiente, a igualdad de los restantes factores lluvia, suelo, topografía y vegetación. Adimensional.

Para la determinación de cada factor se utilizan ecuaciones y tablas disponibles en la bibliografía citada.

La USLE se puede realizar con apoyo de sistemas de información geográfica definiendo los valores de cada factor como una base temática para la representación cartográfica final.

En el año 1981 FAO, PNUMA y UNESCO presentaron una clasificación de la pérdida de suelo en un trabajo denominado “Clasificación Provisional para la evaluación de la Degradación de los Suelos”, confeccionando una tabla con rangos según pérdida de suelo por aplicación de la USLE (Mintegui Aguirre y López Unzú, 1990; Gaspari et al, 2013).

Procesamiento de dichas variables con SIG

El objetivo del presente capítulo es obtener un mapa que exprese las pérdidas de suelo para diferentes zonas de la cuenca, según el modelo USLE. Para ello se operará a través de capas vectoriales y raster y sus bases de datos en QGIS 3.X. El desarrollo metodológico para cumplir los objetivos antes planteados se basan el diagrama de la Figura 109.

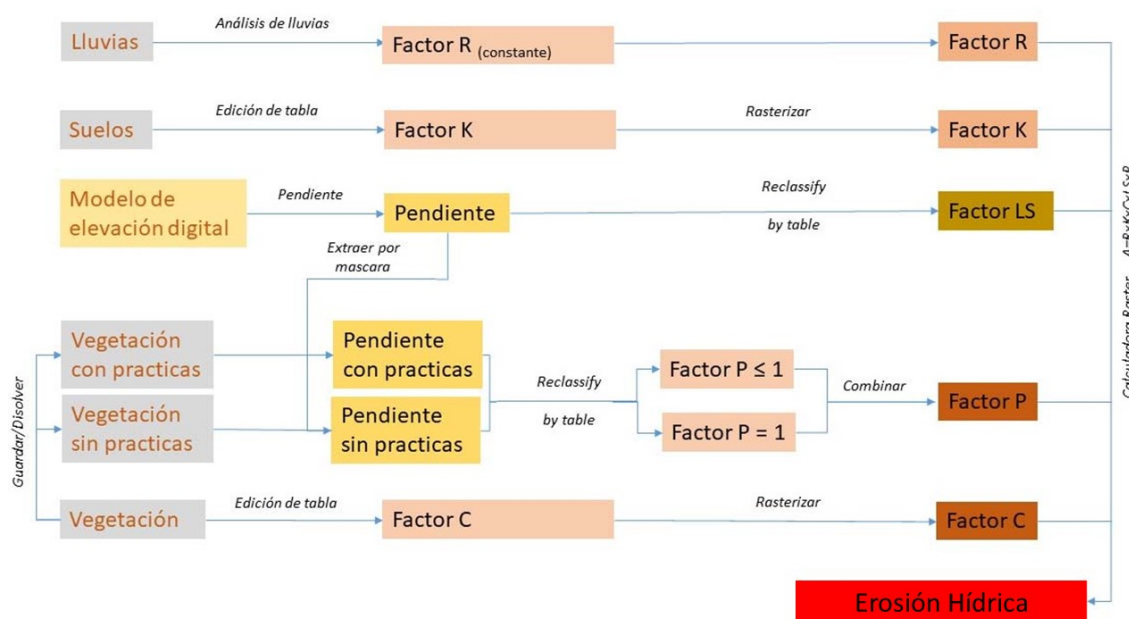




Figura 109. Diagrama de procesos para la zonificación de pérdida de suelos por erosión hídrica.

Factor R

El factor R se obtiene a través de registros pluviométricos históricos. Su variación espacial corresponde a grandes áreas o por presencia de accidentes orográficos. La región tomada como ejemplo registra un cordón serrano, esto induce a pensar que la erosionabilidad de las precipitaciones debería poseer una variación sobre el territorio.

Dada la ausencia de registros distribuidos en el área ejemplo de estudio, se procede a utilizar un valor constante de $280,5 \text{ J.cm.m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ en toda la cuenca, obtenido a partir de la interpolación de estaciones de registro de la región.

Factor K

En la tabla de atributos del mapa de suelos, luego de colocarlo en modo edición con el ícono **Conmutar el modo edición** , se añade una nueva columna a través de ícono **Nuevo Campo** . A continuación, coloque un nombre al mismo, el tipo de valor que contendrá, en este caso será “numero decimal” y su longitud y precisión. Al aceptar, el campo se añadirá a la base de datos. Para completar los atributos tipeé los valores de K obtenidos en la planilla de cálculo (Figura 110). Una vez completa, quite el modo edición y acepte los cambios.

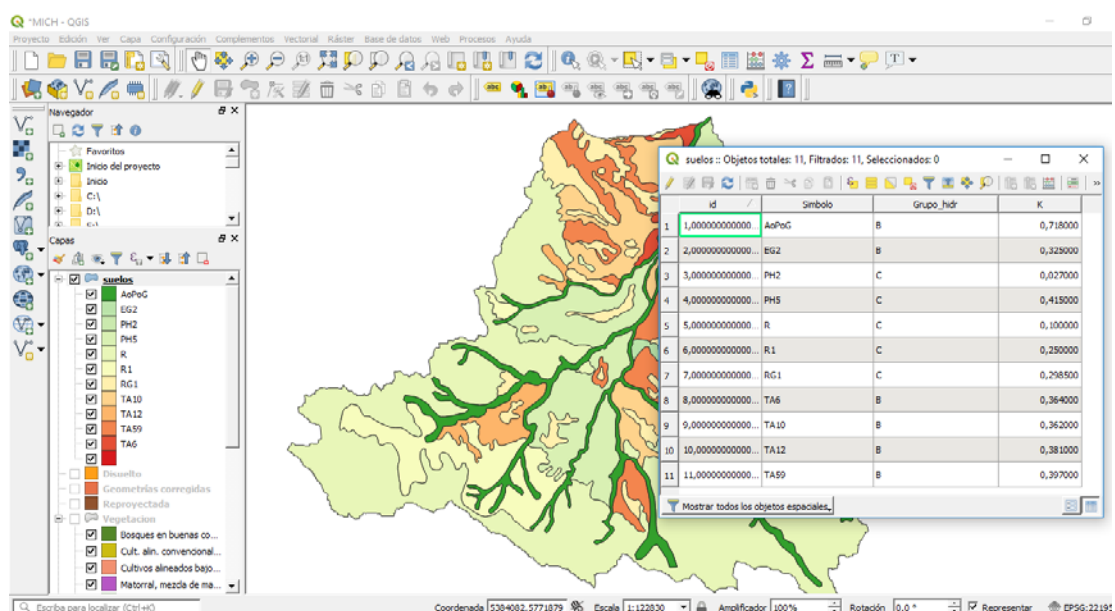


Figura 110.

Rasterización de archivos

El proceso de rasterizado implica transformar una capa vectorial en una malla de píxeles, donde a cada píxel se le asignará el valor correspondiente del archivo original según su ubicación geográfica.

Seleccione el comando **Rasterizar** ubicado en Barra de Menú / Raster / Conversión. En capa de entrada coloque el archivo a convertir, seleccione el “Campo a usar para un valor de marcado” que contenga los valores del archivo a crear.

El proceso requiere configurar las características de la malla del archivo raster. En caso de no disponer de otro archivo ráster se deberán colocar valores acordes a la escala de trabajo. En este ejemplo, se dispone del modelo digital del terreno, el cual posee las características que se le asignarán a todos los archivos rasterizados.

En el cuadro “Unidades tamaño del raster de salida” seleccione “Unidades georreferenciadas”, con ello estará indicando el tamaño de cada píxel expresado en las unidades del sistema de referencia que tenga el archivo a vectorizar.

En resolución Alto / Ancho y Horizontal / Vertical se colocará el tamaño del píxel, en este caso lo obtendremos de las propiedades del archivo DEM. El último parámetro corresponde a las coordenadas máximas y mínimas del raster, en el “cuadro extensión de salida” haga clic en

... Seleccione “Usar extensión de Capa/Lienzo” y en el menú desplegable elija el archivo DEM. Por último, se debe colocar un nombre al archivo de salida en “Rasterizado”, ejecute el proceso (Figura 111).

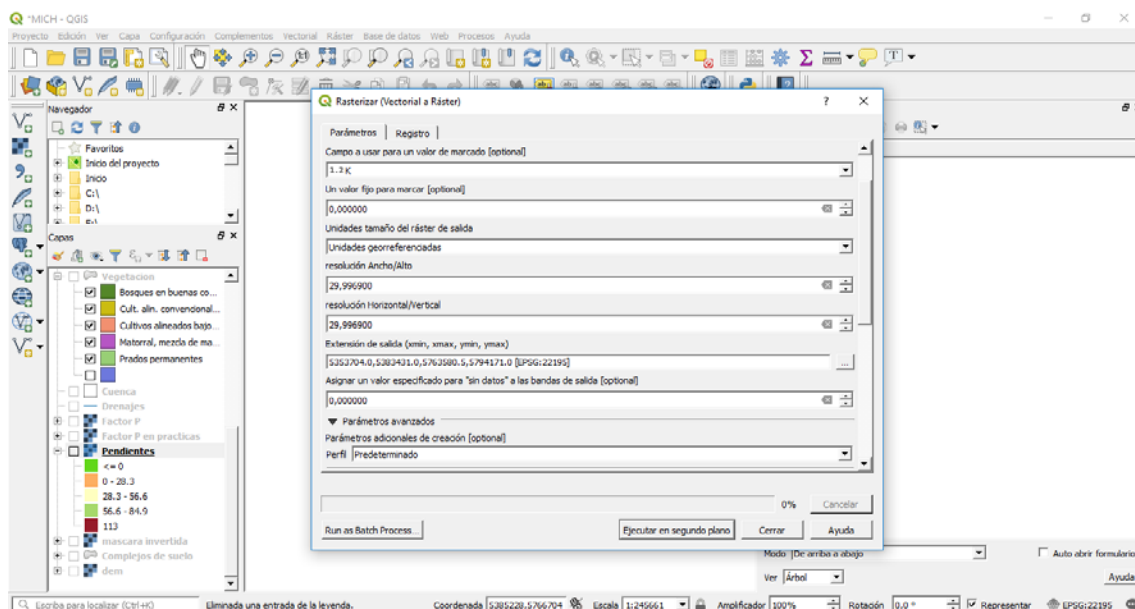


Figura 111. Rasterización de archivos vectoriales.

Factor C

Para obtener el mapa del Factor Cultivo, proceda de igual manera que el factor K, utilizando la capa y valores correspondientes. Luego ejecute el proceso de rasterización.

Factor LS

El mapa de este factor, se obtendrá a partir del archivo de pendientes creado en el punto **Obtención de pendientes** y ejecutando la posterior **Reclasificación de archivos raster**. Para este mapa se utilizan los valores de LS correspondientes a la Tabla 4.

Tabla 4. Factor LS según pendiente del terreno.

Pendiente (%)	LS
< 3	0,3
3-12	1,5
12-18	3,4
18-24	5,6
24-30	8,7
> 30	14,6

Factor P

El proceso de obtención del mapa de factor P se realiza en varios pasos, debido a que los lotes que no poseen prácticas de manejo asumen valor de 1 y aquellos que lo posean variará el valor de P en función de la pendiente, según la Tablas 5.

Tabla 5. Valores de P según pendiente y tipo de práctica.

Pendiente (%)	Cultivo a nivel	Cultivo en fajas	Cultivo en terrazas	
			Terrazas de desagüe	Terrazas de infiltración
< 2	1	-	-	-
2 - 7	0,50	0,25	0,10	0,05
7 - 12	0,60	0,30	0,12	0,05
12 - 18	0,80	0,40	0,16	0,05
18 - 24	0,90	0,45	0,18	0,06
> 24	1	-	-	-

El primer paso es obtener un mapa de pendientes solo en aquellas áreas donde existen prácticas de cultivo. En este ejemplo, corresponden únicamente a cultivo a nivel.

Como primera instancia, abra la tabla de atributos del archivo de vegetación y seleccione aquellos que posean prácticas de cultivo. Los polígonos seleccionados serán la “máscara”, es decir, el límite por el cual se recortará el archivo de pendientes. Una vez seleccionados los polígonos, ejecute la herramienta **Cortar Ráster por Capa de Máscara** ubicado en Barra de Menú / Raster / Extracción. En “Capa de entrada” seleccione el archivo de pendientes, en “Capa máscara” el archivo de vegetación y haga clic en el casillero “*Objetos seleccionados solamente*”, con ello restringe la extracción solamente a las áreas seleccionadas del archivo máscara.

Por último, se debe colocar un nombre al archivo de salida en “Cortado” y ejecute el proceso (Figura 112).

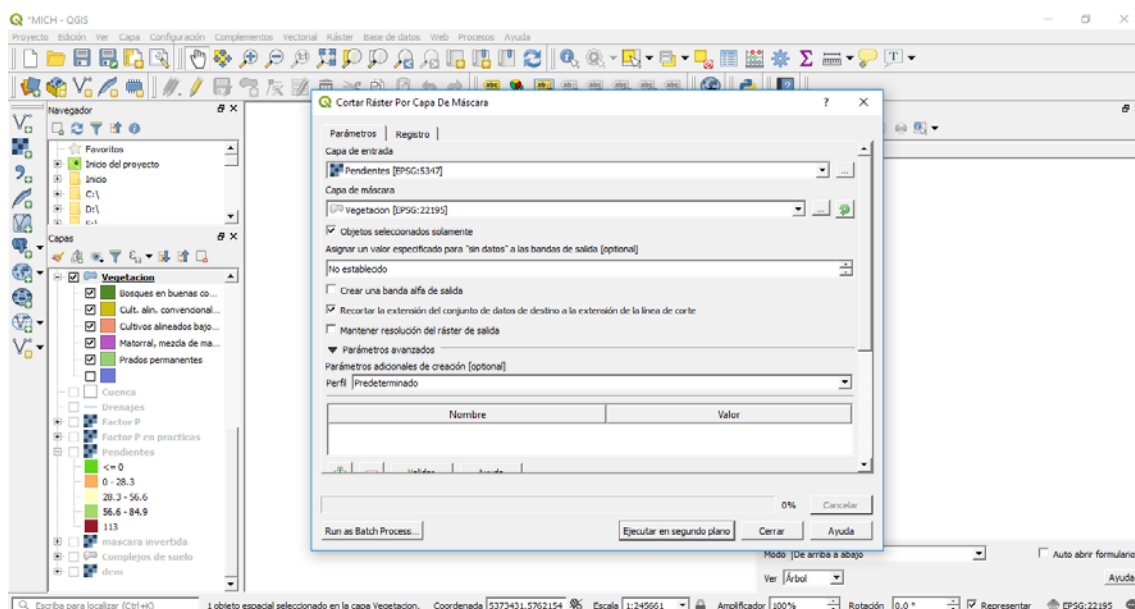



Figura 112. Extracción por máscara con objetos seleccionados

Una vez obtenido esta capa, proceda a reclasificarlo según **Reclasificación de archivos raster**, utilizando los valores de P correspondientes a la Tabla 5.

El segundo paso es asignar el valor 1 a todos los polígonos que no posean práctica. Para ello deberá generar una capa que posea solamente 1 polígono con el comando **Disolver**. Antes de crear este archivo abra la tabla de atributos de la capa de vegetación y seleccione aquellos elementos que no tengan prácticas. En el comando **Disolver** seleccione la capa a disolver (vegetación), haga clic en el casillero “*Objetos seleccionados solamente*”, coloque un nombre al archivo de salida y ejecute el proceso.

Luego, proceda a cortar el mapa de pendientes con el archivo generado con **Cortar Ráster por Capa de Máscara** y reclasifique todo el rango de valores de este último archivo ráster a valor 1 según **Reclasificación de archivos raster**.

Como último paso para generar el mapa del factor P se deben unir los dos archivos generados hasta aquí. Para realizar este procedimiento utilice la herramienta **Combinar** ubicada en Barra de Menú / Raster / Miscelánea. En el casillero “Capa de entrada” haga clic en  y tilde los casilleros de las capas que desea combinar (Figura 113). Coloque un nombre al archivo de salida y ejecute el proceso.

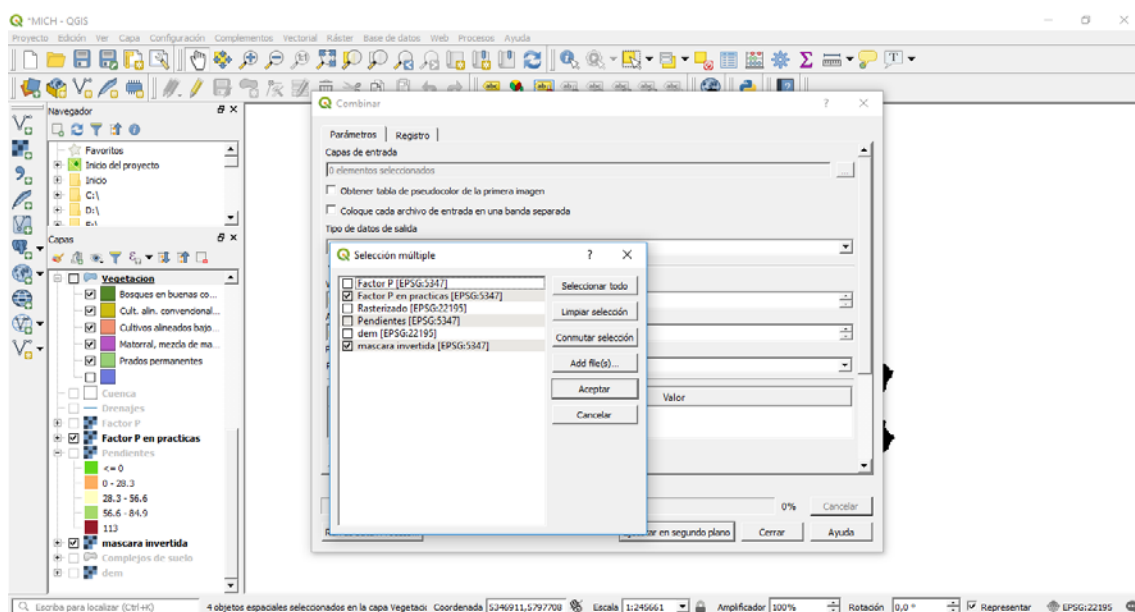


Figura 113. Combinación de capas ráster.

Mapa de pérdidas de suelo (USLE)

La obtención del mapa de pérdidas de suelo corresponde a una simple multiplicación de las capas creadas hasta el momento. El proceso se ejecuta mediante la **Calculadora Raster** ubicada en Barra de Menú / Raster /

En el recuadro inferior ingrese manualmente el valor de la Constante R, y multiplique mediante los operadores disponibles los archivos correspondientes al resto de los factores. Coloque un nombre de salida al Mapa de Pérdidas de suelo que creará (Figura 114).

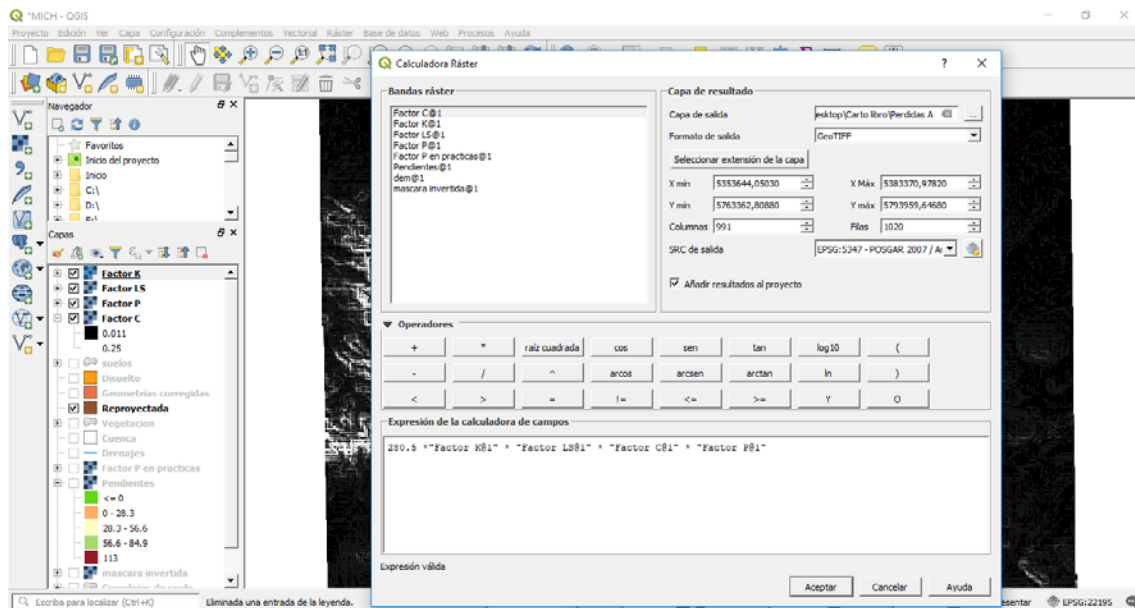


Figura 114. Calculadora ráster.

Como resultado final obtendrá un mapa que representa la pérdida de suelo ($\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$) en la cuenca para cada pixel (Figura 115). Debe tenerse presente que la superficie de cada pixel difiere de la superficie unitaria de las pérdidas calculadas. En el presente ejemplo la superficie de cada pixel es de 0,08998 ha, siendo ese valor por el que debería de multiplicarse la pérdida con el fin de obtener los Mg de suelo que se pierden anualmente en cada pixel.

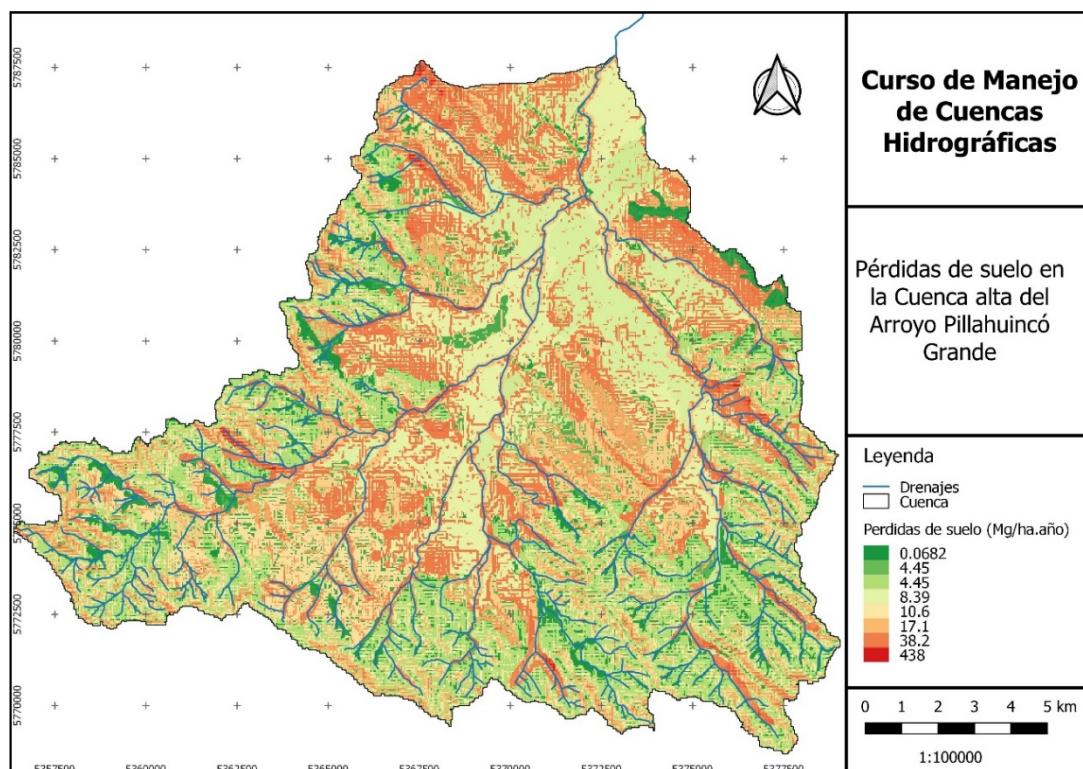


Figura 115. Mapa de pérdidas de suelo

Riesgo de erosión y tolerancia de pérdida de suelo

En el presente apartado se definirán áreas según dos clasificaciones diferentes. La primera corresponde al Grado de erosión hídrica, establecida por FAO, PNUMA, y UNESCO en el año 1981 (Tabla 6).

Tabla 6. Clasificación de Pérdida de suelo por erosión hídrica superficial según FAO, PNUMA, y UNESCO (1981).

Pérdida de suelo (Mg/ha.año)	Grado de erosión
< 10	Nulo o leve
10 - 50	Moderado
50 - 200	Alto
> 200	Muy alto

En la República Argentina, Irurtia et al (2007) generó una clasificación de tolerancia de pérdidas de suelo por erosión hídrica basada en la profundidad del suelo y tipo de sustrato (Tabla 7). En función de esta clasificación, la erosión que supera el umbral establecido, genera una pérdida de suelo mayor al que puede regenerar, siendo no tolerable dicha pérdida.

Tabla 7. Valor máximo de la tolerancia a la erosión hídrica según la profundidad y calidad del sustrato del suelo. Fuente: Irurtia et al (2007).

Profundidad del Suelo (cm)	Sustrato favorable (a)	Sustrato desfavorable (b)
< 25	2,2	2,2
25 – 50	4,5	2,2
50 – 100	6,7	4,5
100 – 150	9,0	6,7
> 150	11,2	11,2

Substrato que puede regenerar un suelo por medio de labranzas, fertilización, enmiendas, cultivos, etc., por ejemplo, loes. (b) Substrato que no puede regenerar un suelo, por ejemplo, roca, tosca, etc.

Determinación de Riesgo y admisibilidad de pérdidas de suelo.

La Figura 116 muestra sintéticamente el proceso de obtención de los mapas de Riesgo de erosión establecidos por FAO, PNUMA, y UNESCO y la admisibilidad de pérdidas suelos establecidas por Irurtia *et al.*



Figura 116. Diagrama de procesos para la determinación de Riesgo de erosión y Admisibilidad de pérdidas suelos.

Riesgo de erosión:

Para obtener el mapa de Riesgo de erosión (Figura 117) proceda a reclasificar el Mapa de pérdidas de suelo (USLE) según los valores establecidos en la Tabla 6, como se indicó en el apartado **Reclasificación de archivos raster**.

Nota: Recuerde que los archivos en formato raster solo admiten valores numéricos, por lo tanto, asigne un número a cada categoría de grado de erosión.

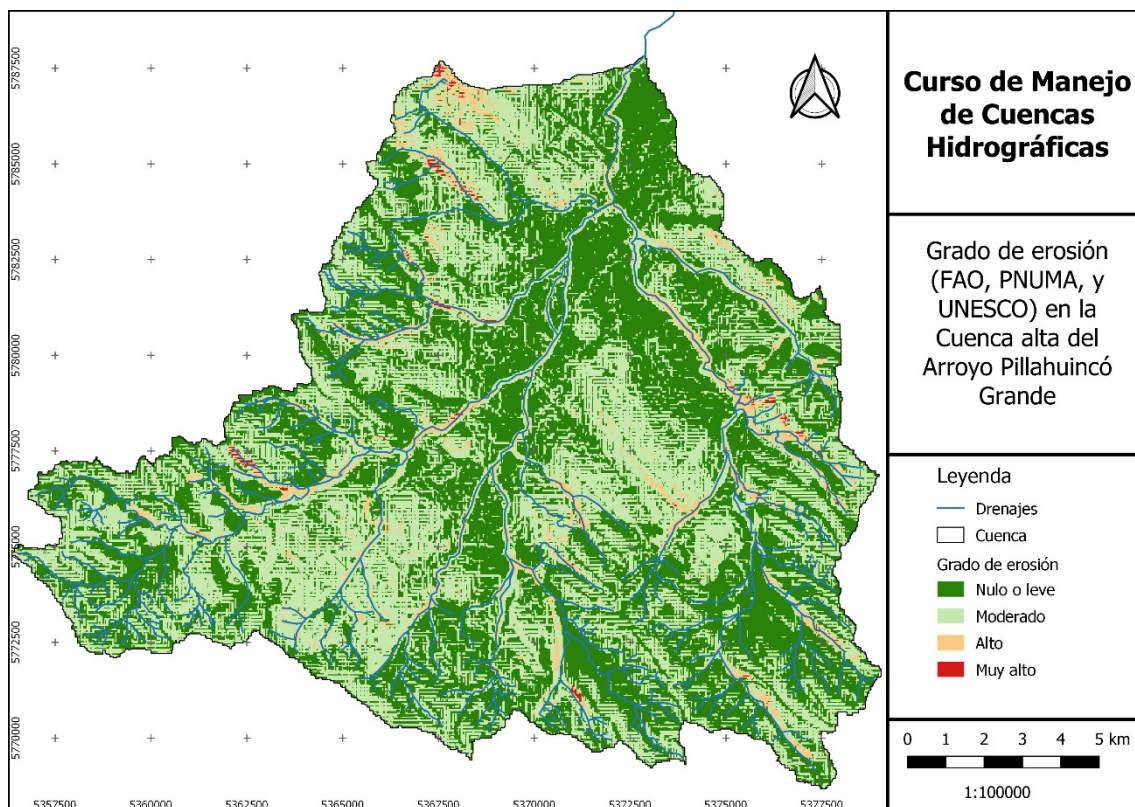


Figura 117. Grado de erosión hídrica según FAO, PNUMA, y UNESCO (1981).

Admisibilidad de pérdidas de suelo

Como se mencionó anteriormente, la tolerancia de pérdidas se encuentra condicionada a la profundidad del suelo y tipo de sustrato. En consecuencia, se debe definir para cada complejo de suelos cuál es su tasa máxima e incorporarla a la base de datos del archivo suelos, por medio de su **edición**, para posteriormente **rasterizar** dicho archivo, tomando esta columna como fuente de datos (Figura 118).

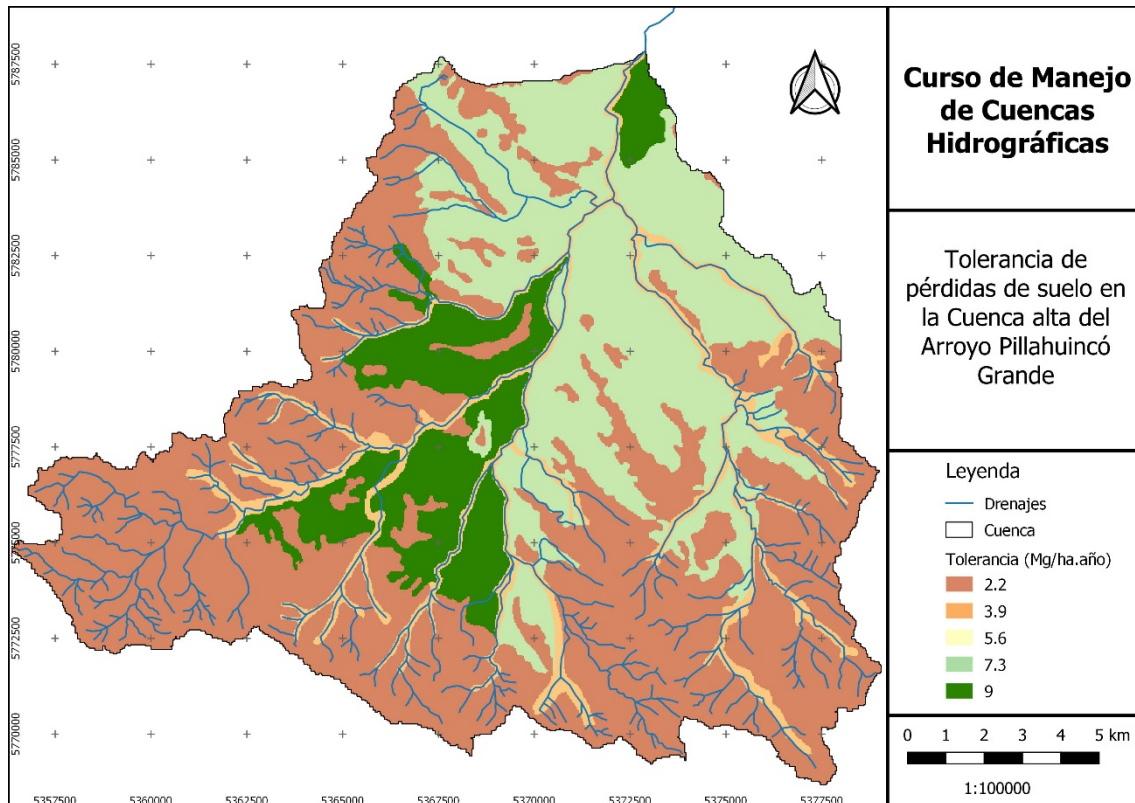


Figura 118. Tolerancia de pérdidas de suelo según complejo de suelo.

Una vez obtenido el raster de tolerancia de pérdidas de suelo, se definen cuáles son las clases que exceden los umbrales permitidos y cuales no lo hacen. Para ello, en la **Calculadora Raster**, reste a dicho archivo el Mapa de Pérdidas de suelo, obteniendo un mapa que será reclasificado en dos rangos (Figura 119):

- Valores iguales o mayores que 0 (≥ 0), representan las áreas que se encuentran en la categoría Admisible.
- Valores menores que 0 (< 0), será el que supera el umbral de tolerancia, considerándose No Admisible la pérdida de suelo.

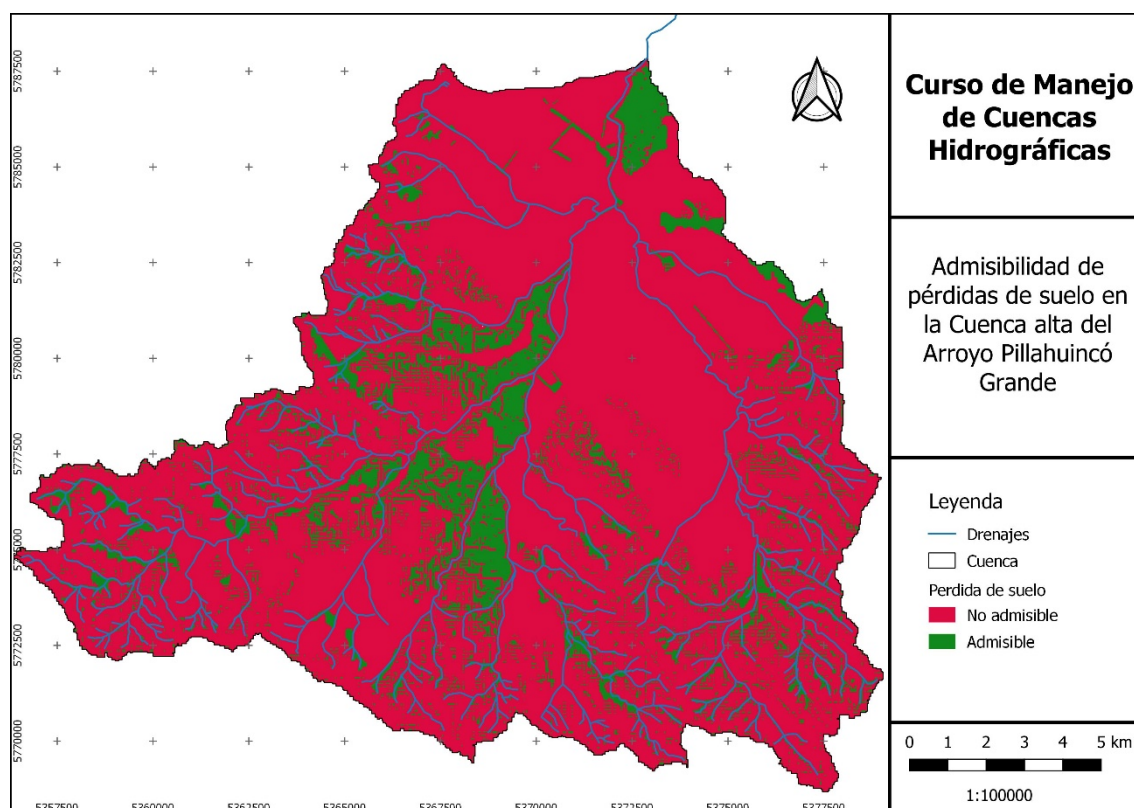


Figura 119. Admisibilidad de pérdidas de suelo.

Referencias

- FAO-PNUMA-UNESCO. (1980). Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. Publicaciones de la FAO, Roma 86 pp.
- Gaspari, F., Rodríguez Vagaría, A., Senisterra, G., Delgado, MI, Besteiro, S. (2013). Elementos metodológicos para el Manejo de Cuencas Hidrográficas. Curso de Manejo de Cuencas Hidrográficas. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata. 188 p. La Plata. Argentina. ISBN 978-950-34-0963-3. Versión digital. Disponible en <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/27877>
- Gaspari, F., Senisterra, G., Delgado, MI, Denegrí, G.A.; Rodríguez Vagaría, A. y R. Díaz Gómez. (2016). Valoración de servicios ambientales para el ordenamiento agrohidrológico en cuencas hidrográficas. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata. 137 p. La Plata. Argentina. SEDICI. ISBN 978-950-34-1324-1. Versión digital. Disponible en <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/52722>
- Irurtia, C., Cruzate, G. y F. Gaspari. (2007). Guía de divulgación técnica. Aplicación de la USLE en la provincia de Buenos Aires para establecer tasas de erosión hídrica. INTA-UNLP. 25 pp.
- Mintegui Aguirre, J. A. & F. López Unzu. (1990). La Ordenación Agrohidrológica en la Planificación. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco. 306 pp.
- Wischmeier W.H. & Smith D.D. (1978). Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning Agriculture Handbook No 537. US Department of Agriculture, Washington, D.C. EE.UU.

CAPÍTULO 6

Redes online de datos geoespaciales

Fuentes de información en Internet: Red Infraestructura de Datos Espaciales de la República Argentina (IDERA)

La Infraestructura de Datos Espaciales de la República Argentina (IDERA) es una comunidad de información geoespacial que tiene como objetivo propiciar la publicación de datos, productos y servicios, de manera eficiente y oportuna como un aporte fundamental a la democratización del acceso de la información producida por el Estado y diversos actores, y al apoyo en la toma de decisiones en las diferentes actividades de los ámbitos público, privado, académico, no gubernamental y sociedad civil. A través de su representación, IDERA busca mantener un carácter nacional y federal¹⁰.

Las Infraestructura de Datos Espaciales (IDE) permiten acceder a datos, productos y servicios geoespaciales, publicados en internet bajo estándares y normas definidos, asegurando su interoperabilidad y uso, como así también la propiedad sobre la información por parte de los organismos que la publican y su responsabilidad en la actualización. Esta iniciativa está en marcha desde el año 2007 y actualmente cuenta con la adhesión y publicación de información de una importante cantidad de organismos nacionales, provinciales, municipales y de investigación (<http://mapas.ambiente.gob.ar/?idarticulo=12533>).

Los componentes de una IDE se basan en estándares tecnológicos fundamentales, que se integran en el Open Geospatial Consortium (OGC), que agrupa organizaciones públicas y privadas y la International Organization for Standardization (ISO) que las normaliza. Las normas ISO y las especificaciones del OGC son ejemplos de normas que facilitan el intercambio de geoinformación. Las raíces del OGC se encuentran en el software fuente libre el cual formuló una visión en la cual diversos sistemas de geoproceso pudieran comunicarse a través de interfaces abiertas. En lenguaje de hoy: Interoperabilidad¹¹. Su fin es la definición de estándares abiertos e interoperables dentro de los SIG y de la World Wide Web (WWW), que posibiliten la interoperación de sus sistemas de geoprocésamiento y facilitar el intercambio de la información geográfica en beneficio de los usuarios.

Las IDE cubren la necesidad de dejar disponible y acceder, de manera fácil, cómoda, eficaz, confiable y a bajo costo, a los datos geográficos existentes en una red de organizaciones (ejemplo, organismos de la Administración Pública). La información geográfica es un recurso de costo-

¹⁰ http://www.idera.gob.ar/index.php?option=com_content&view=article&id=335:geoservicios&catid=33:servicios&Itemid=302

¹¹ https://www.idee.es/resources/presentaciones/JIDEE07/POWERPOINT_JIDEE2007/PowerPoint12.pdf

sa producción y difícil acceso por varios motivos (formatos, modelos, políticas de distribución, falta de información) y de tal forma, una IDE persigue la minimización de los efectos negativos de su distribución y uso¹².

Los diseños y desarrollos de una IDE han de seguir unos principios tecnológicos, basados en unos estándares y normas, dado que es necesario que todos los agentes implicados usen unas referencias comunes. Desde un punto de vista práctico y de diseño de una IDE, se puede esquematizar siguiendo el gráfico de Sebastian Benthall y Galen Evans (Figura 120) que mostraron en la presentación titulada “Spatial Data Infrastructure. Best practices with Geonode”. Según este esquema, las IDE se fundamentan en cuatro elementos fundamentales (datos, metadatos, servicios y usuarios) y las distintas interacciones entre ellos (búsquedas, publicaciones, etc.).

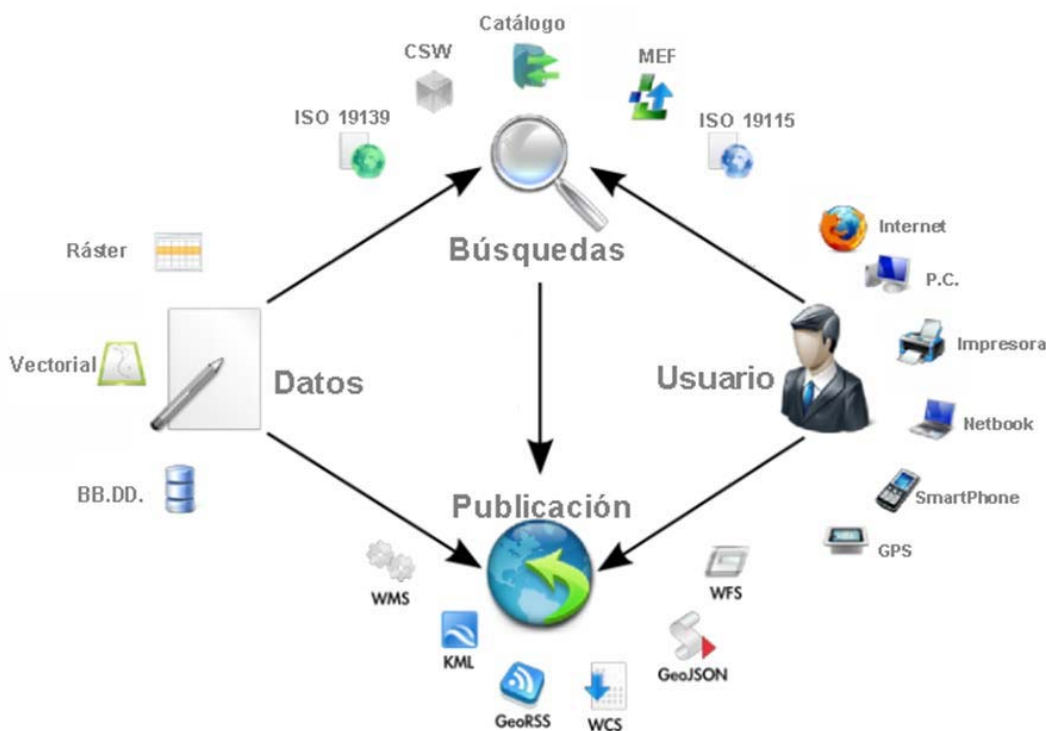


Figura 120. Diseño de operatividad de una IDE y elementos que la componen (Valencia Martínez de Antofiana, 2017).

La tecnología de una IDE, desde un punto de vista formal, se refiere al establecimiento de la red y mecanismos informáticos que permiten buscar, consultar, encontrar, acceder, suministrar y usar los datos espaciales o geográficos. Un elemento clave de esta tecnología es la interoperabilidad, que es la capacidad para comunicar, ejecutar programas o transferir datos entre varias unidades funcionales de forma que un usuario necesite pocos conocimientos de las características de estas unidades (Valencia Martínez de Antofiana, 2017).

Para que dos sistemas diferentes puedan comunicarse e intercambiar información primero deben anunciar su existencia y su voluntad para el intercambio y, segundo, deben utilizar una semántica adecuada para resolver los problemas técnicos que puedan presentarse. En este contexto, se denominan servicios web a un conjunto de tecnologías basadas en la interoperabilidad y que cumplen una serie de opciones: son abiertas, neutras con respecto a la plataforma

¹² <http://idet.tucuman.gob.ar/>

y están pensados para crear servicios distribuidos, que funcionen de forma autónoma y se comuniquen entre ellos (Valencia Martínez de Antoñana, 2017).

Es importante mencionar que Catálogo se denomina a una base de datos con información sobre entidades geoespaciales que están disponibles a una cierta comunidad de usuarios. Un catálogo almacena información descriptiva sobre la entidad de interés no almacena la entidad misma. Esta información descriptiva son los metadatos. Las interfaces relacionadas con catálogos se agrupan en el OGC en un estándar de Servicios de Catálogo (en inglés, Catalogue Services) (Fuente: Documento del OGC, Services and data Discovery: Definitions).

Existe una especificación OGC que establece cómo debe ser estándar e interoperable cada uno de los geoservicios. Los servicios web OGC más aceptados son los mapas en web (WMS), objetos vectoriales en web (WFS), coberturas (WCS), catálogo (CSW) y lenguaje de marcado geográfico (GML). Estos servicios se detallan en el siguiente apartado. El OGC comenzó consensuando y formalizando un formato para el modelaje, almacenamiento y transporte de información vectorial, independiente de cualquier firma comercial, y así apareció la especificación del Geographic Mark Lenguaje (GML) o Lenguaje de Marcado Geográfico¹³.

Tipos de servicios de mapas

Infraestructura de Datos Espaciales Ambiental (IDE Ambiental) en el ámbito del Sistema de Información Ambiental Nacional (SIAN), dependiente de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Jefatura de Gabinete de Ministros de la Nación Argentina, tiene por objetivo administrar, desarrollar, integrar y difundir la información georreferenciada generada dentro del organismo¹⁴. IDERA utiliza dos tipos de servicios de mapas:

- El Servicio de Mapas en Web (WMS) permite la visualización de información geográfica a partir de una representación de ésta, de una imagen del mundo real para un área solicitada por el usuario. Esta representación puede provenir de un archivo vectorial de un SIG, un mapa digital, una ortofoto, una imagen de satélite, entre múltiples posibilidades. Puede organizarse en una o más capas de datos que pueden visualizarse u ocultarse una a una. Se puede consultar cierta información disponible y las características de la imagen del mapa.
- El Servicio de Vectores en Web (WFS) permite el acceso y consulta de los atributos de un vector (feature) que representa información geográfica como un río, una ciudad o un lago, con una geometría descrita por un conjunto de coordenadas. El servicio WFS permite no solo visualizar la información tal y como permite un WMS, sino también consultarla y editarla libremente, con posibilidades de almacenar los cambios en una versión propia de la información original, almacenada en forma remota.

La IDE permite el acceso a la información de manera fácil, cómoda, eficaz, confiable y a bajo costo, porque se realiza a través de Internet. A través de los servicios resultantes del trabajo

¹³ <http://idet.tucuman.gob.ar/ide-primeros-pasos/servicios-ide-visualizacion-de-los-datos-geograficos/>

¹⁴ <http://mapas.ambiente.gob.ar/?idarticulo=12533>. Res. SAyDS 67/2015: Conformase el grupo de trabajo denominado Infraestructura de Datos Espaciales Ambiental (IDE Ambiental)

organizativo y tecnológico de una IDE, cualquier usuario puede buscar, visualizar y descargar datos geográficos a través de servicios online estandarizados a nivel mundial. Por lo general, los datos pueden ser visualizados a través de visores de mapas online y descubiertos a través de buscadores de datos (más conocidos como catálogos de metadatos).

La diferencia con un SIG de escritorio es que este último permite visualizar los datos de su computadora, de una base de datos, y también los compartidos por servicios IDE online. En un SIG, los datos son almacenados en cualquier formato y el usuario necesita tener conocimientos básicos para usar un software SIG. Las IDE solucionan los problemas de distribución, recursos tecnológicos y conversión de formatos. Con el simple acceso a Internet, se cuenta con servicios relativos a la información geográfica sin necesidad de grandes conocimientos técnicos y con otras ventajas que no ofrece un SIG¹⁵. En la Tabla 8 se presenta la diferencia entre SIG e IDE según Valencia Martínez de Antoñana (2017), en su publicación denominada Pasado, presente y futuro de las Infraestructuras de Datos Espaciales.

Tabla 8. Diferencias entre SIG e IDE. Fuente: Valencia Martínez de Antoñana (2017).

CARACTERÍSTICAS	SIG	IDE
PLATAFORMA	desktop y servidores elegidos de manera corporativa	internet / intranet mediante clientes ligeros y/o pesados
FORMATO DE ARCHIVOS	variable, dependiendo de cada marca o plataforma	universal y homogéneo
ACCESIBILIDAD	limitada a la intranet y a la plataforma	universal, a través de internet
INTEROPERABILIDAD	entre ordenadores con la misma plataforma	universal, mediante el establecimiento de servicios.
PERSONALIZACIÓN	dependiente de lenguajes propietarios o APIs de desarrollo	dependiente de lenguajes universales (php, java, gml...)
INFORMACIÓN SOBRE LOS DATOS	desconocido, se asumen como buenos	mediante metadatos
UBICACIÓN DE DATOS	centralizada en servidores	descentralizada (cloud GIS)
CAPACIDAD DE ANÁLISIS	la propia de la plataforma corporativa elegida	la propia de la plataforma elegida para trabajar con los datos
UBLICACIÓN DE DATOS	mediante servidor, si dispone, la marca elegida	a través de servicios y clientes ligeros
BÚSQUEDA DE INFORMACIÓN	mediante software desarrollado a tal efecto	mediante catálogos de datos
ACTUALIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN	el encargado de nutrir de información al sistema la busca y carga	automáticamente el ente encargado de generarla y dar acceso
BENEFICIARIO	la entidad corporativa que lo sustenta	universal
COSTE DE LICENCIAS	variable, dependiendo de la marca (0 a.....)	sin costo

¹⁵ <http://idet.tucuman.gob.ar/ide-primeros-pasos/entonces-cual-es-la-diferencia-entonces-entre-sig-e-ide/>

Conexión a los geoservicios y aplicación en software libres

La información disponible en Argentina, por medio de IDE y visores web se ha incorporado a bases de datos digitales que se encuentran en internet, como ser:

- Geoinformación de la Subsecretaría de Planificación y Política Ambiental de la Nación: <http://www.ambiente.gov.ar/?idseccion=76>,
- GeolINTA: <http://geointa.inta.gov.ar/>,
- Atlas Digital de los Recursos Hídricos Superficiales de la República Argentina: <http://www.iarh.org.ar/noticia.php?id=96>
- Autoridad del Agua de la Provincia de Buenos Aires (ADA): <http://gis.ada.gba.gov.ar/>
- Instituto Nacional del Agua (INA): <http://www.ina.gov.ar/>,
- Atlas de Cuencas y Regiones Hídricas Superficiales de la República Argentina (2010): <https://www.argentina.gob.ar/interior/subsecretaria-de-recursos-hidricos/cartografia-hidrica-provincial>
- SIG-250. Instituto Geográfico Nacional (IGN): <http://www.ign.gob.ar/sig250>

En relación a los programas (Software) utilizados para el procesamiento de información geográfica por SIG, la oferta disponible es de tipo libre o comercial (con licencia). Algunos ejemplos son:

Productos comerciales bajo licencia:

- ArcGIS (ESRI S.A.: <http://www.esri.com>).
- MapINFO (MapINFO Corporation S.A: <http://www.mapinfo.com>)
- IDRISI (Clark Labs: <http://www.clarklabs.org/>), con fines educativos.

Productos libres:

- GRASS (US Army Corps: <http://grass.itc.it>)
- ILWIS (International Institute in Geo-Information Science and Earth Observation: <http://www.itc.nl/ilwis/>) especializado en hidrología y teledetección
- GvSIG (Generlitat Valenciana: <http://www.gvsig.gva.es/>).
- MapWindow (Universidad del Estado de Idaho: <http://www.mapwindow.org>)
- QGIS (Spatial Planning & Information, Department of Land Affairs (DLA), Eastern Cape, en conjunto con la Spatial Information Management Unit, Office of the Premier, Eastern Cape, South Africa)¹⁶.

¹⁶ https://docs.qgis.org/2.18/es/docs/gentle_gis_introduction/preamble.html#a-word-from-the-editor

En el siguiente link puede encontrar el Instructivo para la visualización de servicios WMS/WFS de IDERA utilizando QGIS.

http://www.idera.gob.ar/images/stories/downloads/documentos/guias/Uso_de_servicios_WMS_WFS_con_Qgis.pdf

En el año 2005, se anuncia un servidor de aplicaciones de mapas mundial en la web llamado Google Maps®, perteneciente a Alphabet Inc., que ofrece mapas desplazables, así como imágenes satelitales e incluso la ruta entre diferentes ubicaciones o imágenes a pie de calle con Google Street View. Posteriormente, se presentó una variante a nivel entorno de escritorio llamada Google Earth que ofrece también de forma gratuita.

En el año 2008, se comenzaron a difundir los archivos de formato KML como estándar de un lenguaje que ya tenía una gran cantidad de usuarios y desarrollos relacionados con la plataforma del Google Earth®, suponiendo una democratización de bases de datos complejas del mundo. Google Earth es un programa informático que muestra un globo virtual que permite visualizar múltiple cartografía, con base en la fotografía satelital. El mapa de Google Earth está compuesto por una superposición de imágenes obtenidas por imágenes satelitales, fotografías aéreas, información geográfica mundial. El programa está disponible en varias licencias, pero la versión gratuita es la más popular. Hay diversas versiones, la web <https://earth.google.com/web/> la de escritorio y la de móvil / celular que se pueden bajar de internet. Google Maps y Google Earth permiten ver y usar una gran variedad de contenido, como datos de mapas y relieve, imágenes, fichas de empresas, tráfico, opiniones y otra información relacionada que proporciona Google®, sus proveedores de licencias y los usuarios.

Referencias

Valencia Martínez de Antoñana, J. (2017). Infraestructuras de Datos Espaciales Tridimensionales: Hacia un modelo real de la Información Geográfica. Tesis doctoral. Universidad de Salamanca. España. 219 pp.

https://gredos.usal.es/jspui/bitstream/10366/137170/1/DICT_ValenciaMartinezJ_Tridimensional.es.pdf

Los autores

Fernanda Julia Gaspari

Ingeniera Forestal, y Magister Scientiae Conservación y Gestión del Medio Natural. Doctora en Ingeniería Hidráulica. Con 24 años en docencia universitaria, siendo actualmente en Grado Profesora Adjunta a Cargo del Curso de Manejo de Cuencas Hidrográficas, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (UNLP). En Post-Grado se desempeña como Directora de la Maestría en Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas, siendo además Profesora a cargo de dos cursos. Sub directora del CEIDE (Centro de Estudios integrales de la Dinámica Exógena). Entre sus publicaciones se encuentran 11 libros, 8 capítulos de libro, 45 artículos en revistas y 104 trabajos en congresos. Ha realizado 23 informes técnicos, organizado 9 convenios inter-institucionales. Dirigió 12 tesis de Maestría; y tiene 2 en desarrollo; 2 tesis doctorales y 3 doctorados y becas de experiencia laboral y de investigación de Postgrado.

Alfonso Martín Rodríguez Vagaría

Ingeniero Forestal. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. U.N.L.P. 2007. Magister Scientiae en Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas. 2010. 16 Cursos de perfeccionamiento, Distinción Dr. Joaquín V. González. Ayudante Diplomado Ordinario Manejo de Cuencas Hidrográficas. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. U.N.L.P desde Marzo de 2007. Categoría de docente - investigador V. Miembro de la Junta Departamental de Ambiente y Recursos Naturales. F.C.A.F. Un Subsidio recibido. Participante en 9 Convenios. 22 participaciones en jornadas y simposios. 11 participaciones en proyectos acreditados de investigación. Trabajos publicados: 6 libros; 16 en Revistas y 32 en Congresos. 9 informes al sector público.

Fabio Alejandro Montealegre Medina

Ingeniero catastral y geodesta de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia. 2009. Magister Scientiae en Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas. 2017. 9 Cursos de perfeccionamiento. Participante en 2 Convenios. 5 participaciones en jornadas y simposios. 2 participaciones en proyectos acreditados de investigación. Trabajos publicados: 4 en Revistas y 6 en Congresos.

Gaspari, Fernanda Julia

Manejo de cuencas hidrográficas : herramientas de sistemas de información geográfica /
Fernanda Julia Gaspari ; Alfonso Martín Rodríguez Vagaría ; Fabio Alejandro Montealegre
Medina. - 1a ed. - La Plata : Universidad Nacional de La Plata ; EDULP, 2019.

Libro digital, PDF - (Libros de cátedra)

Archivo Digital: descarga

ISBN 978-950-34-1833-8

1. Cuencas Hidrográficas. I. Rodríguez Vagaría, Alfonso Martín II. Montealegre Medina,
Fabio Alejandro III. Título
CDD 551.23

Diseño de tapa: Dirección de Comunicación Visual de la UNLP

Universidad Nacional de La Plata – Editorial de la Universidad de La Plata
48 N.º 551-599 / La Plata B1900AMX / Buenos Aires, Argentina
+54 221 644 7150
edulp.editorial@gmail.com
www.editorial.unlp.edu.ar

Edulp integra la Red de Editoriales Universitarias Nacionales (REUN)

Primera edición, 2019
ISBN 978-950-34-1833-8
© 2019 - Edulp

n
naturales



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA